



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학박사학위논문

에너지절약형 주거건물을 위한  
**Hydronic Thermal Energy System의 난방수요 대응방안**

**Handling Strategies of Hydronic Thermal Energy System for Heating Demand  
on Low Energy Residential House**

2017년 8월

서울대학교 대학원

건축학과

정창호

에너지절약형 주거건물을 위한  
Hydronic Thermal Energy System의 난방수요 대응방안

Handling Strategies of Hydronic Thermal Energy System for Heating Demand  
on Low Energy Residential House

지도교수 김 광 우

이 논문을 공학박사학위논문으로 제출함

2017 년 4 월

서울대학교 대학원

건축 학 과

정 창 호

정창호의 박사학위논문을 인준함

2017 년 6 월

위원장	여 명 석	(인)
부위원장	김 광 우	(인)
위원	이 현 수	(인)
위원	박 진 철	(인)
위원	정 재 원	(인)

## 국 문 초 록

본 연구에서는 난방부하 감소와 운전 중 난방수요의 변화에 대한 대응 측면에서의 난방 및 에너지 성능 개선을 위한 대안으로서, 난방수요 특성 뿐 아니라 에너지절약형 주거건물에서의 열원통합 경향과 다양한 열 사용시설의 요구조건 차이 등을 고려한 Hydronic Thermal Energy System의 구성과 운전방안을 제안하고 그 적용 타당성을 검증하였다.

연구의 주된 결과는 다음과 같다.

(1) 난방설비의 난방수요 대응을 위해 요구되는 성능을 도출하기 위해 난방운전 및 열적 거동 특성에 영향을 미치는 인자를 도출하였으며, 난방수요 측면의 영향인자로 난방운전 방식을, 난방설비의 난방수요대응 측면의 영향인자로 열에너지의 생산·전달·최종 공급과정을 고려하여 공급 온수온도, 바닥 복사난방 패널의 열적 특성, 건물외피의 열적 특성을 각각 선정하였다.

(2) 최대 난방부하를 기준으로 산정되는 설계 공급 온수온도의 특성상 연속운전 중 대부분의 기간에 직면하는 부분부하 조건에서는 단위시간당 요구 열량에 비해 큰 열량이 공급됨으로써 과열현상이 발생하였다. 이러한 현상은 난방부하가 작은 에너지절약형 공동주택에서 두드러지게 나타났으나, 작은 난방부하로 인해 바닥 표면온도와 작용온도는 비교적 낮은 분포를 보였다. 따라서 에너지절약형 주거건물에서 높은 공급 온수온도에 의한 과잉열량 공급으로 인한 과열현상과 낮은 바닥 표면온도에 의한 불쾌적에 대한 고려가 필요하며, 복사 열전달 효과에 의한 복사난방의 장점은 크게 나타나지 않는 것으로 나타났다.



(3) 간헐운전이 적용된 경우, 난방부하에 비해 높은 공급 온수온도를 적용하여도 재실하지 않는 기간의 난방중단으로 인한 실내온도 하강을 회복하는 과정에서 설정실온 하한에 미달하는 시간이 크게 증가한다. 이러한 현상은 난방부하가 비교적 큰 기존 공동주택에서 두드러지게 나타나고, 난방부하가 작은 에너지절약형 공동주택에서는 난방중단 중 실내온도 하강 폭이 비교적 작기 때문에 난방 재가동 시 실내온도를 설정 값으로 빠르게 회복되었다.

(4) 연속운전을 적용할 때 복사난방 패널의 유형에 따른 열적 거동은 큰 차이를 나타내지 않았다. 간헐운전의 경우, 난방중단 중 실내온도의 하강 폭이 열용량이 비교적 작은 건식패널을 적용했을 때 크게 나타났으며, 열용량이 큰 습식패널의 경우 난방가동 중 패널에 축적된 열이 방열됨으로 인해 난방중단 시 실내온도 하강 폭이 건식패널에 비해 작게 나타났다. 그러나 동일한 이유로 난방 재가동 시 실내온도를 설정 범위로 회복하는 시간도 길게 나타났다. 에너지절약형 공동주택에서는 난방부하의 감소로 인해 간헐운전의 경우에도 실내온도 하강 폭이 작았으며, 건식패널의 경우 난방 재가동 시 회복시간이 매우 짧게 나타났다.

(5) 연속운전을 적용할 때 건물의 단열방식에 따른 열적 거동은 큰 차이를 보이지 않았으나, 실내온도의 변동 폭은 내단열에 비해 외단열을 적용했을 때 작게 나타났다. 이는 외단열의 경우 일사 또는 바닥 복사난방 패널로부터 많은 열량이 공간으로 유입될 때 건물외피에 열을 축적하고, 실내온도가 하강할 때 축적된 열을 공간으로 배열하는 과정에 의한 결과이다. 그러므로 건물 내부 건축자재의 큰 열용량은 과잉열량 공급에 의한 과열현상과 실온변동 편차를 완화시켜주는 효과를 얻을 수 있다.

(6) 단위시간당 요구 열량과 공급 열량의 차이로 인해 나타나는 과열 현상 및 난방부족으로 인한 불쾌적, 과잉 열량 공급으로 인한 에너지 낭비를 개선하기 위해 공급 온수온도 조절을 통한 공급 열량의 조절이 요구된다. 한편, 간헐운전의 경우 최대 난방부하를 고려한 공급 온수온도에 의한 열량 공급에도 불구하고 난방부족 현상이 나타나므로 운전상태를 고려한 추가 열량 공급이 요구된다. 이를 충족할 수 있는 방법으로, 개별 난방방식에서는 생산된 열을 저장한 후 난방수요에 따라 조절하여 공급하는 방법이, 중앙 난방방식에서는 중앙 기계실로부터 공급되는 열에너지를 즉시 변환하여 공급하는 방법이 효율적인 것으로 판단된다.

(7) 외기보상에 의한 공급 온수온도에 운전상태를 추가적으로 반영한 온수온도를 공급 열매조건으로 산정하는 운전방안을 제안하였다. 운전상태를 고려하여 설정실온에 도달할 때까지는 외기조건에 예열부하에 의한 공급 열량을 반영하였으며, 설정실온 도달 후에는 외기조건만 반영하여 공급 온수온도를 산정하는 방안을 제안하였다.

(8) 열전달 매체로서의 복사패널의 열용량은 과열 및 에너지 소비를 증가시키며, 공간 내 건물외피의 열용량은 실내온도 변동 편차를 완화시켜주는 역할을 한다. 기존 및 에너지절약형 공동주택에서의 난방 및 에너지 성능 개선을 위해서는 난방설비의 반응속도 개선을 위해 비교적 열용량과 열시정수가 작은 복사난방 패널과 비교적 큰 열용량을 갖는 건물 내부의 건축자재 적용(외단열)이 건축적인 대응으로 적합하다고 판단된다.

(9) 기존 공동주택에서의 Hydronic Thermal Energy System 구성안과 운전방안 적용 난방운전 시, 실내온도 및 실내온도 변동 폭은 비교적 안정적으로 설정범위 내로 유지되었다. 또한 현재 일반적으로 적용되는 난방설비에 비해 Hydronic Thermal Energy System 구성안과 운전방안을 적용했을 때 난방에너지 소비를 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 기존 공동주택에 Hydronic Thermal Energy System 적용 시 현재의 전형적인 난방설비에 비해 난방 및 에너지 성능의 개선이 가능한 것으로 나타났다.

(10) 외단열 및 건식패널이 적용된 에너지절약형 공동주택에서의 Hydronic Thermal Energy System 구성안과 운전방안 적용 난방운전 시, 실내온도 및 실내온도 변동 폭은 비교적 안정적으로 설정범위를 유지하였으며, 난방중단 후 재가동 시 설정실온으로 실내온도가 회복되는 속도도 빠르게 나타났다. 또한 난방에너지 저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 에너지절약형 공동주택에 Hydronic Thermal Energy System 적용 시 난방 및 에너지 성능의 개선이 가능한 것으로 판단된다.

한편, 간헐운전에 비해 연속운전의 경우 실내온도가 약간 높게 유지되었고, 난방의 가동-정지도 연속운전의 경우가 더 빈번했다. 따라서 난방부하의 크기가 상대적으로 작은 에너지절약형 주거건물에서는 실내온도 분포 및 난방설비의 가동-정지 특성, 이로 인한 난방에너지 소비 측면에서 연속운전에 비해 간헐운전을 적용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

□ 주요어 : 에너지절약형 주거건물, 온수순환 방식 난방설비, 공급 온수온도, 바닥 복사난방 패널, 건물외피, 난방수요, Hydronic Thermal Energy System

□ 학 번 : 2009-30891

# 목 차

<b>제 1 장 서론</b>	<b>1</b>
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위 및 방법	6
 <b>제 2 장 주거건물의 난방부하 및 난방설비</b>	 <b>11</b>
2.1 주거건물 난방부하의 변화	12
2.1.1 국내 공동주택 열관류율 기준 변화	12
2.1.2 국내 주거건물 설계 난방부하의 변화	15
2.1.3 에너지절약형 주거건물의 난방부하	16
2.2 주거건물 난방설비 적용 현황	18
2.2.1 국내 공동주택의 난방설비	21
2.2.2 에너지절약형 주거건물의 난방설비	36
2.3 소결	51
 <b>제 3 장 Hydronic Thermal Energy System의 평가체계</b>	 <b>53</b>
3.1 난방거동 영향인자	53
3.1.1 난방수요 영향인자	55
3.1.2 수요대응 영향인자	58
3.2 평가항목	69
3.2.1 난방성능 및 쾌적	69
3.2.2 난방에너지 소비 특성	73
3.3 평가조건 및 대상	76
3.3.1 대상세대	76
3.3.2 난방설비	85
3.4 소결	87

<b>제 4 장 난방거동 영향인자와 난방운전 특성</b>	<b>89</b>
4.1 공급 온수온도	91
4.1.1 연속운전 시 공급 온수온도의 영향	92
4.1.2 간헐운전 시 공급 온수온도의 영향	100
4.2 바닥 복사난방 패널의 열적 특성	110
4.2.1 연속운전 시 복사패널의 영향	111
4.2.2 간헐운전 시 복사패널의 영향	118
4.3 건물구조체의 열적 특성	124
4.3.1 연속운전 시 단열방식의 영향	125
4.3.2 간헐운전 시 단열방식의 영향	130
4.4 소결	134
 <b>제 5 장 Hydronic Thermal Energy System의 난방수요 대응방안</b>	 <b>137</b>
5.1 기존 공동주택에서의 난방수요 대응 요구	138
5.1.1 연속운전을 고려한 설비 대응	138
5.1.2 간헐운전을 고려한 설비 대응	146
5.2 에너지절약형 공동주택에서의 난방수요 대응 요구	154
5.2.1 연속운전을 고려한 설비 대응	155
5.2.2 간헐운전을 고려한 설비 대응	159
5.3 난방설비 대안 - Hydronic Thermal Energy System	164
5.3.1 난방설비 요구조건 충족 방안	164
5.3.2 Hydronic Thermal Energy System의 구성	174
5.3.3 Hydronic Thermal Energy System의 운전	178
5.4 소결	180

<b>제 6 장 Hydronic Thermal Energy System의 난방수요 대응성능 평가</b>	<b>183</b>
6.1 평가 개요	186
6.1.1 평가조건 및 항목	186
6.1.2 평가대상 Hydronic Thermal Energy System 계획	189
6.2 기존 공동주택에서의 대응성능	195
6.2.1 연속운전 중 난방 및 에너지 소비 특성	195
6.2.2 간헐운전 중 난방 및 에너지 소비 특성	199
6.3 에너지절약형 공동주택에서의 대응성능	203
6.3.1 연속운전 중 난방 및 에너지 소비 특성	203
6.3.2 간헐운전 중 난방 및 에너지 소비 특성	207
6.4 소결	212
<b>제 7 장 결 론</b>	<b>215</b>

참 고 문 헌	223
ABSTRACT	229
감 사 의 글	235

## 표 목 차

표 2.1 중부지역 공동주택의 열관류율 기준 변화(온수온돌 바닥난방) .....	14
표 2.2 복사난방 제어 방식 .....	29
표 2.3 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방설비 구성 현황 .....	32
표 3.1 바닥 복사난방 운전 시 권장 바닥 표면온도 .....	72
표 3.2 Hydronic Thermal Energy System의 성능평가 항목 .....	75
표 3.3 현행 주거건물의 외피구성 및 물성 (2015년 인허가 공동주택) .....	80
표 3.4 국내 주택의 최소 환기요구량 변화 .....	81
표 3.5 분석 대상세대 구성 및 경계조건 .....	83
표 3.6 분석 대상세대 별 난방설비 현황 .....	86
표 4.1 공급 온수온도에 따른 난방운전 특성 평가조건 .....	91
표 4.2 관행적 공급 온수온도를 적용한 연속운전 시 난방운전 특성 .....	93
표 4.3 난방부하를 고려한 공급 온수온도를 적용한 연속운전 시 난방운전 특성 ..	95
표 4.4 연속운전 중 공급 온수온도의 영향 .....	98
표 4.5 관행적 공급 온수온도를 적용한 간헐운전 시 난방운전 특성 .....	101
표 4.6 난방부하를 고려한 공급 온수온도를 적용한 간헐운전 시 난방운전 특성 ·	105
표 4.7 간헐운전 중 공급 온수온도의 영향 .....	106
표 4.8 복사패널의 열적 특성에 따른 난방운전 특성 평가조건 .....	111
표 4.9 건식 난방패널 적용 시 연속운전 중 난방운전 특성 .....	112
표 4.10 연속운전 중 복사난방 패널의 유형에 따른 영향 .....	116
표 4.11 건식 난방패널 적용 시 간헐운전 중 난방운전 특성 .....	119
표 4.12 운전방식과 바닥 복사난방 패널 유형에 따른 영향 .....	121
표 4.13 건물구조체의 열적 특성에 따른 난방운전 특성 평가조건 .....	124
표 4.14 외단열 방식의 건물외피 적용 시 연속운전 중 난방운전 특성 .....	126
표 4.15 연속운전 중 단열방식의 영향 .....	127

표 4.16 외단열 방식의 건물외피 적용 시 간헐운전 중 난방운전 특성 .....	130
표 4.17 간헐운전 중 단열방식의 영향 .....	132
표 5.1 습식 및 건식난방 패널의 열시정수 .....	143
표 5.2 내단열 및 외단열 적용 시 단열재 기준 내측 자재의 열용량 .....	145
표 5.3 공급열량 조절방법의 정성적 평가 .....	176
표 6.1 Hydronic Thermal Energy System의 적용 타당성 평가조건 .....	188



## 그 림 목 차

그림 1.1 연구흐름도 .....	10
그림 2.1 중부지역 공동주택의 열관류율 기준 변화(온수온돌 바닥난방) .....	15
그림 2.2 국내 주거건물의 난방방식 현황 .....	20
그림 2.3 개별 가스보일러를 열원으로 하는 바닥 복사난방 시스템 계통 .....	21
그림 2.4 개별 가스보일러의 운전 예 .....	23
그림 2.5 습식패널(좌)과 건식패널(우)의 단면 구조 .....	27
그림 2.6 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방설비 구성 .....	32
그림 2.7 난방온수 직접 공급방식 설비 .....	42
그림 2.8 난방온수 직접 공급방식 적용 시 계통 .....	42
그림 2.9 난방온수 직접 공급방식 설비(with mixing loop) .....	43
그림 2.10 난방온수 직접 공급방식(with mixing loop) 적용 시 계통 .....	44
그림 2.11 난방온수 간접 공급방식 설비 .....	44
그림 2.12 난방온수 간접 공급방식 적용 시 계통 .....	45
그림 2.13 난방온수 직접 공급방식 설비 .....	46
그림 2.14 난방온수 직접 공급방식 설비의 주요 component .....	47
그림 2.15 난방온수 직접 공급방식 적용 시 계통 .....	47
그림 2.16 난방온수 간접 공급방식(순간 가열) 설비 .....	48
그림 2.17 난방온수 간접 공급방식(순간 가열) 설비의 주요 component .....	49
그림 2.18 난방온수 간접 공급방식(순간 가열) 적용 시 계통 .....	49
그림 2.19 난방온수 간접 공급(순간 가열) 또는 축열방식 설비의 구성 .....	50
그림 2.20 난방온수 간접 공급(순간 가열) 또는 축열방식 적용 시 계통 .....	50
그림 3.1 난방수요에 대한 난방설비의 대응 개념 .....	55
그림 3.2 난방수요 및 난방설비의 대응 관련 영향인자와 반영 방법 .....	68
그림 3.3 주택규모별 주택건설 인허가 실적 .....	78

그림 3.4 아파트 내 총 방수(총조사 주택총괄)	79
그림 3.5 분석대상 공동주택의 평면 구성	80
그림 3.6 주거건물 geometry modelling 현황	84
그림 3.7 대상세대 geometry modelling 현황	84
그림 4.1 연속운전 중 공급 온수온도에 따른 난방운전 특성	97
그림 4.2 간헐운전 중 공급 온수온도에 따른 난방운전 특성	108
그림 4.3 건식 바닥 복사난방 패널의 형태 및 구성(K사)	111
그림 4.4 연속운전 중 복사패널의 유형에 따른 난방운전 특성	113
그림 4.5 간헐운전 중 복사패널의 유형에 따른 난방운전 특성	122
그림 4.6 연속운전 중 단열방식에 따른 난방운전 특성	129
그림 4.7 간헐운전 중 단열방식에 따른 난방운전 특성	133
그림 5.1 연속운전 중 공급 온수온도에 따른 난방에너지 소비(기준)	140
그림 5.2 연속운전 중 패널유형 및 단열방식에 따른 난방에너지 소비(기준)	141
그림 5.3 간헐운전 중 공급 온수온도에 따른 난방에너지 소비(기준)	147
그림 5.4 간헐운전 중 패널유형 및 단열방식에 따른 난방에너지 소비(기준)	149
그림 5.5 연속운전 중 공급 온수온도에 따른 난방에너지 소비(에너지절약형)	155
그림 5.6 연속운전 중 패널유형 및 단열방식에 따른 난방에너지 소비(에너지절약형)	157
그림 5.7 간헐운전 중 공급 온수온도에 따른 난방에너지 소비(에너지절약형)	160
그림 5.8 간헐운전 중 패널유형 및 단열방식에 따른 난방에너지 소비(에너지절약형)	161
그림 5.9 기존 공동주택에서 영향인자별 상대적 에너지 소비 비율	172
그림 5.10 에너지절약형 공동주택에서 영향인자별 상대적 에너지 소비 비율	173
그림 6.1 개별 난방방식 적용을 위한 HTES 계통	190
그림 6.2 지역난방 열원을 이용하는 중앙 난방방식 적용을 위한 HTES 계통	193
그림 6.3 연속운전 중 외기온도가 가장 낮은 기간의 난방운전 특성(기준)	196
그림 6.4 연속운전 중 외기온도 변동 폭이 큰 기간의 난방운전 특성(기준)	197
그림 6.5 연속운전 중 외기온도가 온화한 기간의 난방운전 특성(기준)	197
그림 6.6 기존 공동주택에서 HTES 적용 시 에너지 저감 효과	198
그림 6.7 간헐운전 중 외기온도가 가장 낮은 기간의 난방운전 특성(기준)	200

그림 6.8	간헐운전 중 외기온도 변동 폭이 큰 기간의 난방운전 특성(기준) ..	201
그림 6.9	간헐운전 중 외기온도가 온화한 기간의 난방운전 특성(기준) .....	201
그림 6.10	연속운전 중 외기온도가 가장 낮은 기간의 난방운전 특성(에너지절약형)	204
그림 6.11	연속운전 중 외기온도 변동 폭이 큰 기간의 난방운전 특성(에너지절약형)	205
그림 6.12	연속운전 중 외기온도가 온화한 기간의 난방운전 특성(에너지절약형) ..	205
그림 6.13	에너지절약형 공동주택에서 HTES 적용 시 에너지 저감 효과 ....	207
그림 6.14	간헐운전 중 외기온도가 가장 낮은 기간의 난방운전 특성(에너지절약형)	208
그림 6.15	간헐운전 중 외기온도 변동 폭이 큰 기간의 난방운전 특성(에너지절약형)	209
그림 6.16	간헐운전 중 외기온도가 온화한 기간의 난방운전 특성(에너지절약형) ..	209
그림 6.17	외기온도가 가장 낮은 기간의 연속운전 및 간헐운전 결과 .....	211

---

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

## 1.2 연구의 범위 및 방법

---

### 1.1 연구의 배경 및 목적

난방설비(heating system)는 난방공간을 희망하는 온도로 유지하기 위해 건물에서 손실되는 열량을 공급하는 장치로, 난방공간을 목표 상태로 유지하기 위해 단위시간당 요구되는 열량만큼을 난방공간에 공급하는 것이 난방설비의 이상적인 목표라 할 수 있다. 단위시간당 요구열량과 상이한 열량이 공급될 때, 공급열량 부족 또는 과잉에 의한 난방불쾌적이나 운전효율 저하, 불필요한 열량 공급으로 인한 에너지 낭비를 초래할 수 있다. 그러므로 난방 및 에너지 성능 측면에서 단위시간당 요구열량만큼을 공급하는 것이 우선적으로 요구되지만, 이를 어렵게 하는 요인들도 존재한다.

온수순환 방식 난방설비(hydrionic heating system) 적용 시, 열원용량 등 주요 설비요소들의 설계변수 값과 열매(heat medium)조건은 최대 난방부하가 발생하는 실내·외 설계조건을 기준으로 산정되고 적용된다. 그러므로 난방설비는 설계조건과 유사한 조건 하에서 효율적으로 운전될 수 있으며 적절한 난방성능을 발휘할 수 있다.

그러나 설계조건에 근거하여 고정적인 형태로 적용되는 난방설비는 실

제 난방운전 중 대부분의 기간에서 설계조건과 상이한 조건에서 운전(부분부하 운전)된다. 난방설비의 부분부하 운전은 설계조건 하에서의 운전에서 기대되는 난방설비 운전과는 상이한 거동을 보일 수 있으며, 이는 난방성능 및 운전효율 저하의 주된 원인이 되기도 한다.

이런 이유에서, 설계조건과 유사한 운전조건을 형성하거나 부분부하 운전조건에 난방설비가 효율적으로 대응하는 방법에 대한 연구가 계속되고 있다. 그러나 부분부하 운전으로 인한 난방성능 및 운전효율 저하는 난방설비 계획과 운전 특성 상 내재적인 문제일 뿐 아니라 여전히 개선이 요구되는 문제임에 틀림없다. 따라서 난방성능 및 운전효율, 에너지성능 개선을 위해, 운전 중 난방요구(heating requirement or heating demand) 변화에 대한 난방설비의 대응이 우선적인 고려요소가 되어야 한다.

한편, 건물에너지 소비 저감 노력의 결과로 주거건물의 난방부하는 지속적으로 감소하고 있다. 그러나 국내 주거건물의 난방설비 구성(configuration)과 주요 설비요소의 설계변수 값 및 열매조건은, 현재와 같은 온수순환 방식 바닥 복사난방이 국내에 도입되어 정착된 시기와 비교할 때, 큰 변화 없이 관행적으로 적용되는 경향이 두드러지게 나타난다. 이는 난방설비의 설계변수 값이나 열매조건이 실제 난방요구에 비해 과잉 산정되어 적용되고 있을 가능성을 내포하고 있을 뿐 아니라, 주거건물의 열적 특성을 고려하지 않은 부적절한 난방운전이 적용되고 있을 수 있다는 것을 의미한다.

최대 난방부하에 근거한 고정적 설계변수 값을 가지는 난방설비의 특성상 설계조건과 운전조건의 차이로 인해 난방성능 및 운전효율 저하 가능성이 존재한다는 점과, 이러한 문제가 설계(최대) 난방부하와 실제 난방요구의 차이가 커질수록 더욱 두드러지게 발생한다는 것을 감안할 때, 난방부하를 고려하지 않은 관행적 난방설비 적용은 대부분의 난방운전

기간 중 부적절한 열량공급으로 인한 난방불쾌적이나 에너지 낭비, 부분 부하 운전에 의한 효율저하 등의 문제를 더욱 심화시킬 수 있다.

난방부하의 크기가 비교적 큰 과거의 주거건물에서는 난방설비의 과잉 설계에서 기인하는 열량의 과잉공급으로 인한 불쾌적이나 에너지 낭비 및 운전효율 저하가 전반적인 난방성과 에너지 소비에 큰 비중을 차지하지 않을 수 있다. 그러나 난방부하가 매우 작은 에너지절약형 주거건물에서는 난방설비의 관행적 적용에 의한 난방성과 운전효율 저하는 큰 비중을 차지할 수 있을 뿐 아니라, 궁극적으로 Zero Energy House의 실현을 위해서도 매우 중요한 개선 영역으로 고려될 수 있을 것이다.

또한, 고정적 설계조건과 변화하는 운전조건과의 차이에서 기인하는 난방성능 및 운전효율 저하는 열원용량 및 열매조건 산정 방식에 의해서도 발생할 수 있다.

개별난방(decentralized heating) 방식의 경우, 일반적으로 동일한 개별열원이 난방 뿐 아니라 급탕(domestic hot water, DHW)요구도 담당하며, 통상적으로 난방부하에 비해 큰 급탕요구량을 기준으로 개별열원의 용량이 산정된다. 따라서 난방부하에 비해 비교적 큰 용량의 열원설비가 적용되므로, 부분부하 운전으로 인한 운전효율 저하와 과잉난방으로 인한 불쾌적 및 에너지 낭비는 급탕과 난방을 분리하여 처리하는 방식의 난방설비에 비해 더욱 빈번하고 심각하게 발생할 수 있다.

난방온수와 급탕온수를 분리하여 공급하는 중앙난방(centralized heating) 방식의 경우, 난방부하와 급탕요구량의 차이에서 기인하는 운전효율 저하와 과잉난방 문제는 개별난방 방식에 비해 비교적 덜 심각하다. 그러나 최대 난방부하에 근거한 설계조건과 운전조건의 차이로 인한 쾌적 및 에너지 소비 문제는 여전히 존재하며, 이러한 문제는 중앙난방 설비계획

시 고려된 단위세대와 크게 상이한 부하조건을 갖는 세대에서는 더욱 크게 나타날 수 있다. 동시간대에 세대 별로 상이한 크기의 난방부하가 발생하는 것과 더불어, 거주자의 개인적 성향 차이로 인해 세대 별로 상이한 난방운전 형태가 나타난다. 이러한 경우 각 세대는 서로 다른 조건의 열량공급이 필요하며, 중앙에서 동일한 열매조건으로 난방온수를 공급하는 중앙난방 방식의 경우, 개별세대의 난방요구에 적합한 온수를 공급하지 못함으로 인한 난방불쾌적 및 에너지 소비 문제가 유발될 수 있다.

미래 주거건물의 목표 모델로 제시되고 있는 Passive House, Zero Energy House 등과 같은 에너지절약형 주거건물 난방부하는, 과거에 비해 상당히 감소한 현재 주거건물의 난방부하와 비교해서도, 더욱 감소할 것으로 예상된다. 그러나 작아진 난방부하에 적합한 소형 열원을 적용하지 못함으로 인해 오히려 에너지비용이 증가하는 역설적인 현상이 발생하고 있으며, 이를 개선하기 위해 열 사용설비들의 열원을 통합하고자 하는 움직임도 있다. 이 경우, 난방부하의 감소와는 달리 급탕요구는 현재와 동일 또는 증가할 것으로 예상되는 등 통합열원이 담당하는 각 열 사용설비에서의 열에너지 요구가 다양해 질 것이며, 이에 대한 대응방안이 요구된다.

기존 및 에너지절약형 주거건물 난방설비 계획의 특성 상, 단위시간당 요구열량이나 열매조건에 부합하는 열매의 생산·공급에 제약이 있으며, 이로 인해 난방불쾌적 및 에너지 소비 문제가 유발될 수 있다. 그러므로 설계과정에서 특정 부하조건과 운전상태를 가정하여 결정되는 난방설비가 난방운전 중 부하조건 변화와 난방운전 형태의 변화에서 기인하는 난방요구(수요)에 효율적으로 대응할 수 있는 방안이 필요하다.

이는 개별난방 방식에서뿐 아니라, 동일한 조건의 난방온수를 각 세대에 공급하는 중앙난방 방식 공동주택 단지에서의 상이한 세대 별 난방요구 대응을 위해서도 필요하다. 또한 향후 주거건물의 주된 형태로 정착하게 될 에너지절약형 주거건물의 난방부하 특성과 설비적용 특성에 대응할 수 있는 난방설비 대안과 운영방안도 요구된다.

한편, 주거건물의 형태와 사용되는 건축자재의 종류, 난방열원 및 말단설비의 형태도 다양해질 것으로 예상되는데, 이는 주거건물의 열적 특성 변화와 연관된다. 이러한 열적 특성 변화는 열원에서 생산된 열에너지의 전달·공급 과정에서 난방설비의 열적 거동에 영향을 미칠 수 있으므로, 에너지절약형 주거건물의 난방설비 대안을 위해서는 이에 대한 고려가 필요하다.

즉, 주거건물 설계 난방부하의 지속적인 감소와 외기조건 및 운전형태, 건물구조체 및 난방설비의 열적 특성에 따른 운전 중 난방수요 변화를 고려한 난방설비 대안과 대응방안이 요구된다.

따라서 본 연구는 난방운전 중 난방수요 변화에 대응하여 쾌적뿐 아니라 에너지 절감을 달성할 수 있는 기존 및 에너지절약형 주거건물 난방설비 대안으로써 Hydronic Thermal Energy System(HTES)을 제안하고, 난방수요 대응방안을 도출하여 제시하는 것을 주된 목적으로 설정하였다.

이를 위해, 주거건물의 Hydronic Thermal Energy System 구성안을 도출하고, 난방수요 영향인자를 고려한 Hydronic Thermal Energy System의 대응방안으로서 계획 및 운전방안을 제시하여 적용 타당성을 검증하였다.



## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 기존 및 에너지절약형 주거건물에서 난방 및 에너지 성능 개선을 위한 난방설비의 난방운전 중 난방수요 대응방안으로써 Hydronic Thermal Energy System을 제안하고, 구성(configuration)과 대응(운전)방안을 도출하여 검증하는 것을 연구의 목적으로 설정하였다.

난방 및 에너지 성능 개선이 필요한 요인으로는, 고정된 조건으로 계획된 난방설비가 운전 중의 난방수요 변화에 대응하는 과정에서의 난방불량 및 에너지 낭비 가능성과 건물 및 난방설비의 열적 특성과 난방운전 방식에 따른 난방 및 에너지 성능에 대한 고려 부재를 대상으로 삼았다.

분석대상 난방설비로는 현재 대부분의 국내 주거건물에 적용되고 있는 온수순환 방식의 바닥 복사난방 패널을 그 범위로 한정하였다. 한편, 난방부하 감소와 함께 난방설비가 직면하는 열적 환경조건 변화의 관점에서, 기존 주거건물 뿐 아니라 미래 주거건물의 목표 모델로 제시되고 있는 에너지절약형 주거건물에서의 적용도 함께 고려하였다.

온수를 이용하는 바닥 복사난방처럼, 생산된 열에너지(thermal energy)를 난방공간으로 전달하기 위해 물이나 수용액을 이용하는 난방설비를 온수순환 방식 난방설비(hydronic heating system)라 하며<sup>1)</sup>, 온수를 열매로 사용하는 특성으로 인해 급탕설비와 결합되어 적용되는 경우가 빈번하게 나타난다. 더욱이 작은 열 부하(thermal load)에 비해 큰 용량의 열원이 적용됨으로써 오히려 에너지 비용이 불필요하게 증가하는 현상이 나타나

---

1) John Siegenthaler, 2012, Modern Hydronic Heating for Residential and Light Commercial Buildings(3e), Delmar, Cengage Learning, p.3.

고 있는 에너지절약형 주거건물의 Zero Energy House 실현을 위해 냉난방·환기·급탕용 에너지를 통합하려는 동향<sup>2)</sup>을 고려할 때, 향후에는 열원을 공유할 수 있는 건축설비의 통합계획 및 운용이 고려될 필요성이 있다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 난방열원의 계획과 운전이 급탕요구와 관련되어 난방운전 및 성능에 영향을 미칠 뿐 아니라 난방열원과 분배설비의 일부가 급탕설비와 공유되는 측면, 향후 에너지절약형 주거건물에서 동일한 유형의 열매를 사용하는 열 사용설비의 통합 가능성, 난방열원 및 분배설비를 포함하는 연구범위 등을 고려하여, 대상 난방설비를 Hydronic Thermal Energy System으로 명명하고 연구의 주요 대상과 범위로 삼았다. 이에 따라 난방과 관련된 일반적인 사항에 대해 논의할 때는 ‘난방설비’, 본 연구를 통해 제안될 개념의 개선된 난방설비를 논의할 때는 ‘Hydronic Thermal Energy System’으로 표기하였다.

연구의 범위 및 방법을 연구 수행 순서에 따라 정리하면 다음과 같다.

### (1) 주거건물 난방부하 변화와 난방설비 적용 현황 고찰

난방요구 특성에 따른 난방설비의 열적 거동 및 에너지 소비 특성 분석을 위한 분석대상과 조건 설정을 위해, 주거건물 설계 난방부하의 변화, 주거건물 난방설비 적용 현황 및 특성을 고찰하였다.

난방부하 산정의 주요 변수인 열관류율 관련 국내 기준 고찰을 통해 난방부하의 변화 경향을 분석하였으며, 연구문헌과 설계도서 고찰을 통

---

2) 여인규, 2017, “냉난방·환기·급탕·제습 ‘원샷’ 통합유닛시스템 시급”, 주간 kharn, 82. (<http://www.kharn.kr/news/view?no=4271>)

해 국내 주거건물의 설계 난방부하 변화를 분석하였다. 또한 문헌과 주요 건설사의 공동주택 설계도서, 관련기관의 가이드라인 등을 통해 개별 난방 방식과 지역난방 열원을 이용하는 중앙난방 방식 난방설비의 구성 현황을 고찰하였다.

마지막으로 문헌고찰과 사례 분석을 통해 에너지절약형 주거건물의 특징과 난방설비 적용 현황을 분석하였으며, 열 사용설비의 열 수요 변화 대응을 위한 최근의 대안설비를 검토하여 분석하였다.

## **(2) Hydronic Thermal Energy System 성능평가 체계 구축**

난방 및 에너지 성능 개선을 위한 난방설비 요구조건 도출을 위해, 난방운전 중 난방수요 변화와 열적 거동에 영향을 미치는 인자들을 선정하였다. 또한 영향인자에 따른 난방운전 특성 및 설비대안의 대응성능 검증을 위한 평가항목, 대상, 범위 등을 설정함으로써 연구수행을 위한 평가체계를 구축하였다. 평가에 적용되는 바닥 복사난방 패널은 미국공기조화냉동공학회 기술도서(ASHRAE Handbook)에서 제시하고 있는 복사난방 설계방법을 활용하여 설계하였다.

## **(3) 난방거동 영향인자에 따른 난방운전 특성 분석**

난방설비 개선 및 난방수요 대응방안 도출을 위해, 선정된 난방거동 영향인자들이 난방운전 및 열적 거동에 미치는 영향을 분석하였다. 평가에는 동적 열-에너지 시뮬레이션이 가능한 EnergyPlus(ver. 8.6)를 활용하였으며, 영향인자들의 영향정도 분석 결과를 통해 난방설비 개선을 위해 고려되어야 하는 주요 영향인자들을 선정하였다.

#### **(4) Hydronic Thermal Energy System의 난방수요 대응방안 도출**

난방거동 영향인자에 따른 난방운전 특성 분석 결과를 바탕으로, 난방수요 변화에 대응하기 위한 난방설비 대안구성 및 수요대응 요구조건과 성능기준을 도출하였다. 또한 열 수요대응 관련 기존 기술의 정성적 분석·평가를 통해, 난방수요 대응 요구조건 및 성능기준을 충족시킴으로써 난방성능 개선 및 에너지 절감을 실현하기 위한 난방설비 대안으로써의 Hydronic Thermal Energy System 구성방안 및 운전방안을 도출하였다.

#### **(5) 난방수요 특성에 따른 Hydronic Thermal Energy System의 적용 효과 분석**

난방수요 대응을 위한 난방설비 대안으로 제안된 Hydronic Thermal Energy System에 대해, 기존 및 에너지절약형 주거건물을 대상으로 한 난방 및 에너지 소비 특성의 시뮬레이션 분석을 통해 Hydronic Thermal Energy System의 구성 및 난방수요 대응방안에 대한 적용 타당성을 검증하였다.

본 연구의 범위 및 방법에 의해 연구는 그림 1.1과 같이 수행되었다.

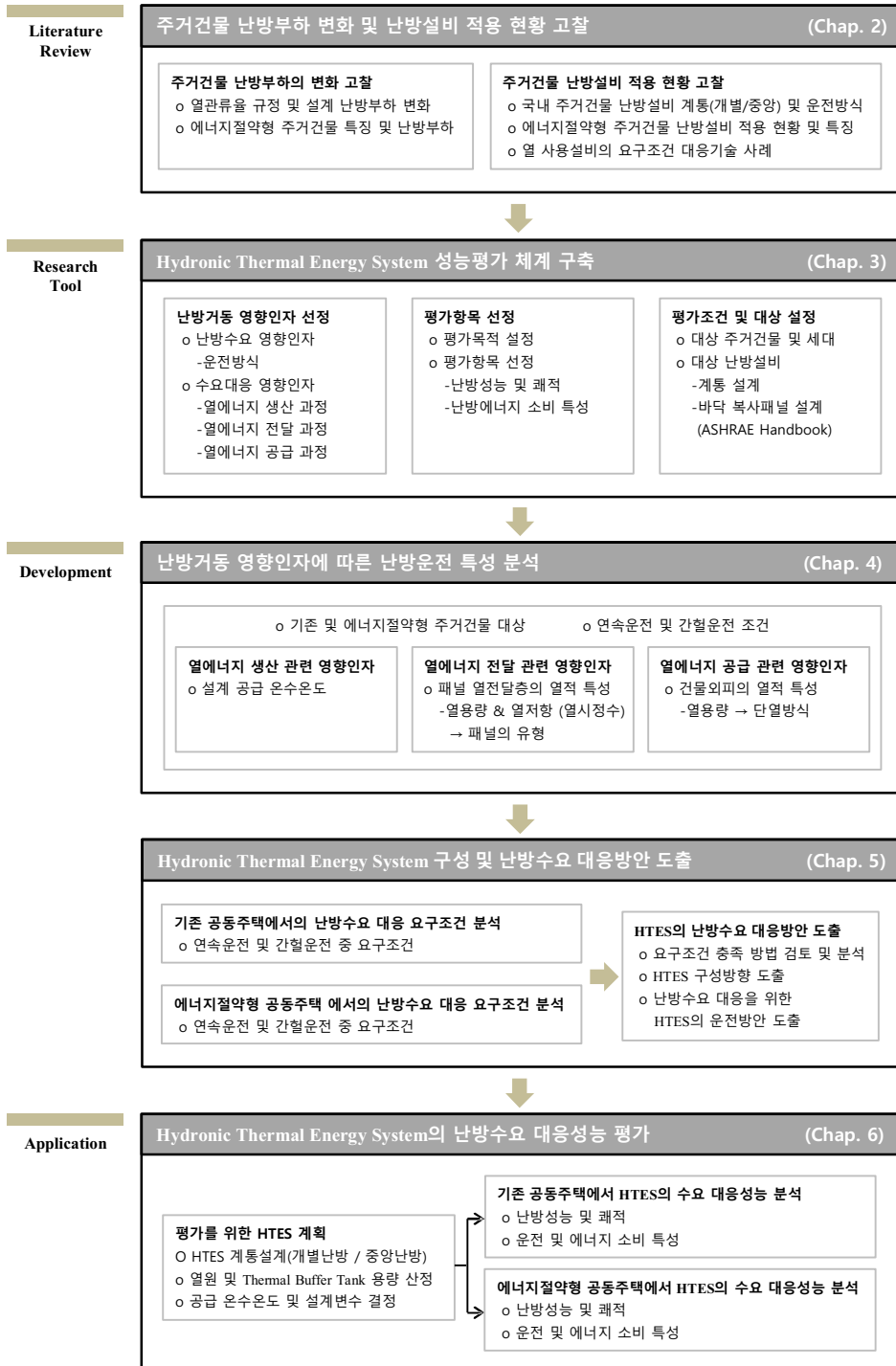


그림 1.1 연구흐름도

---

## 제 2 장 주거건물의 난방부하 및 난방설비

### 2.1 주거건물 난방부하의 변화

### 2.2 주거건물 난방설비 적용 현황

### 2.3 소 결

---

건물에너지 절감을 위한 노력의 결과로 주거건물의 난방부하는 지속적으로 감소하고 있으며, 미래 주거건물의 목표 모델로 제시되고 있는 Passive House, Zero Energy House 등에서는 난방부하가 더욱 감소할 것으로 예상된다. 또한 건축자재 및 공법 등의 다양화로 인해 주거건물의 열적 특성도 변화를 겪고 있으며, 난방설비 대안도 점차 다양해지는 상황이다.

이러한 변화에도 불구하고, 국내 대부분의 주거건물에 적용되고 있는 바닥 복사난방 설비는 본 난방설비가 정착될 당시의 주거건물의 열적 특성과 바닥 복사난방 패널의 구조 및 자재 등에 근거하여 계획되었던 구성(configuration)과 주요 설계변수 값 및 열매조건을 큰 변경 없이 관행적으로 적용하고 있다. 뿐만 아니라 난방성능 개선 및 난방에너지 절감을 위해 제안되는 대책들도 주거건물의 열적 특성 및 난방부하의 변화를 반영하기 보다는 기존 주거건물과 난방설비의 특성을 그대로 가정한 조건에서의 평가와 분석이 주를 이룬다.

본 장에서는 기존 및 에너지절약형 주거건물 난방수요 대응을 위한 난방설비 대안과 운전방안 도출을 위한 난방설비 요구조건 도출과 평가방

법 수립을 위해 문헌고찰과 사례 분석을 수행하였다. 이를 통해 국내 주거건물의 설계 난방부하 변화와 난방설비 적용 현황 및 특성을 고찰하였으며, 에너지절약형 주거건물의 특징과 난방설비 적용 동향을 분석하였다. 또한 최근 주거건물 적용이 시도되는 주요 난방설비 구성과 그에 따른 주요 설비요소(component)에 대해 고찰하였다.

## 2.1 주거건물 난방부하의 변화

난방부하의 변화는 설계 난방부하 계산에 직접적으로 관계되는 변수(인자) 값의 변화를 통해서 그 경향을 유추할 수 있으며, 연구문헌이나 설계도서 상의 자료를 통해서 실제 설계 난방부하의 크기를 확인할 수도 있다. 본 절에서는 난방부하 계산 과정에 사용되는 변수 값에 대한 국내 규정의 변화를 통해 국내 주거건물 난방부하의 변화 경향을 파악하였으며, 연구문헌에 나타난 설계 난방부하 값 고찰을 통해 실제적인 난방부하의 변화를 파악하였다.

### 2.1.1 국내 공동주택 열관류율 기준 변화

난방부하는 실내온도를 적절히 유지하기 위하여 공급해야 할 열량을 의미하며, 이 열량은 난방공간에서 발생하는 손실열량이다.<sup>3)</sup> 이 손실열량은 벽·천장·바닥·창문 등의 구조체를 통해 전달되는 손실열량(관류에 의한 난방부하)과 틈새바람이나 공간 내로 들어오는 외기를 가열하기 위한 손실열량(침기 및 환기에 의한 난방부하)으로 구성된다.<sup>4)5)</sup>

3) 성순경, 2007, 난방시스템, 도서출판 세진사, p.33.

4) Ibid.

한편, 건물의 설계 난방부하(design heating load)는 외기온도가 최저 외기온도 근방(97.5% design dry bulb temperature)일 때에 건물에서 손실되는 열량(rate of heat loss)의 추정치(estimate)로, 난방설비에 의해 공급되도록 계획되는 최대 손실열량이다.<sup>6)</sup> 관류에 의한 난방부하와 침기 및 환기에 의한 난방부하 계산에서, 설계 난방부하 산정에 사용되는 실내 공기온도와 외기온도는 각각 난방운전을 통해 유지하기를 원하는 실내 설정온도와 최저 외기온도 근방의 설계 외기온도를 적용하며, 규정이나 경험에 의해 설계자가 고정적인 특정 값을 선택하여 반영한다.

그러므로 난방부하는 관류에 의한 난방부하와 침기 및 환기에 의한 난방부하 계산으로부터 구조체의 열관류율( $U$  value)과 도입되는 외기의 양에 비례한다고 볼 수 있으며, 해당 변수에 대한 규정의 변화를 통해 난방부하의 변화 경향을 예상할 수 있다.

국내 공동주택의 열관류율에 대한 규정은 1979년 「건축법시행규칙」에 처음으로 제시된 이후, 몇 차례 개정 과정을 거치다가 1992년부터는 「건축물의설비기준등에관한규칙」에 기준을 명시하였다. 그 후 2013년부터는 「건축물의 에너지 절약 설계기준」에서 그 규정을 찾아볼 수 있으며, 열관류율의 규정 변화를 표 2.1과 그림 2.1에 나타내었다.

표 2.1과 그림 2.1을 통해 국내 공동주택의 열관류율 기준은 1979년 제정된 이래로 2016년까지 지속적으로 강화되고 있음을 알 수 있으며, 이를 통해 국내 공동주택의 최대(설계) 난방부하가 점차 감소하고 있음을 가늠할 수 있다.

---

5) Ronald L. Howell, William J. Coad, Harry J. Sauer, Jr., 2009, Principles of Heating Ventilating and Air Conditioning Based on the 2009 ASHRAE Handbook-Fundamentals, 6th, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., p.200.

6) John Siegenthaler, op. cit., p.22.



표 2.1 중부지역 공동주택의 열관류율 기준 변화(온수온돌 바닥난방)

단위 : W/m²K

구분		건축법시행규칙 <sup>7)</sup>				건축물의설비기준등에관한규칙 <sup>8)9)10)</sup>				건축물의 에너지절약 설계기준 <sup>11)</sup>	
		1979.09	1980.12	1984.03	1987.07	1992.06	2001.01	2008.07	2010.11	2013.09	2016.01
거실의 외벽	외기 직접	1.05	0.58	0.58	0.58	0.58	0.47	0.47	0.36	0.27	0.21
	외기 간접						0.41	0.64	0.49	0.37	0.30
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기 직접	1.05	0.58	0.58	0.41	0.41	0.29	0.29	0.20	0.18	0.15
	외기 간접						0.47	0.41	0.29	0.26	0.22
최하층에 있는 거실의 바닥	외기 직접	1.74	1.16	0.58	0.58	0.58	0.35	0.35	0.30	0.23	0.18
	외기 간접						3.37	0.52	0.43	0.35	0.26
공동주택의 측벽		-	-	0.47	0.47	0.47	0.35	0.35	0.27	-	-
공동주택의 층간 바닥		-	-	-	-	-	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
창 및 문	외기 직접	-	3.49	3.49	3.37	3.37	3.84	3.00	2.10	1.50	1.20
	외기 간접	-	-	-	-	-	5.47	4.30	2.80	2.20	1.60

7) 건설부령, 1979/1980/1984/1987, 건축법시행규칙.

8) 건설부령, 1992, 건축물의설비기준등에관한규칙.

9) 건설교통부령, 2001, 건축물의설비기준등에관한규칙.

10) 국토해양부령, 2008/2010, 건축물의설비기준등에관한규칙.

11) 국토교통부 고시, 2013/2016, 건축물의 에너지절약설계기준.

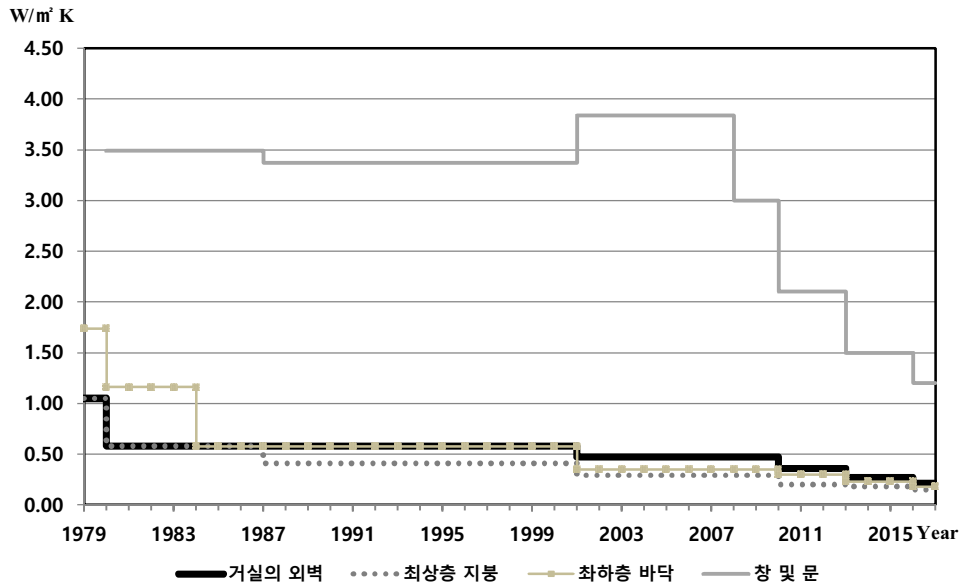


그림 2.1 중부지역 공동주택의 열관류율 기준 변화(온수온돌 바닥난방)

## 2.1.2 국내 주거건물 설계 난방부하의 변화

실제 주거건물의 난방부하 변화 경향을 파악하기 위해 국내 주거건물 난방설비로 온수순환 방식의 바닥 복사난방 시스템이 적용되기 시작하는 시점(1970년)으로부터 최근까지의 국내 주거건물 난방설비 관련 연구문헌을 검토하였다. 문헌들에 제시된 난방부하 값이 실제 주거건물 난방설비 설계에 활용된 값과 차이가 있을 수도 있으나, 연구를 위해 당시의 주거건물을 분석한 결과이므로 해당 시기 주거건물의 실제적인 난방부하 값으로 판단할 수 있을 것이다.

1970년에 발표한 이병영의 연구<sup>12)</sup>에서는 당시의 맨션아파트 단위면적당 난방부하를 117~155W/m<sup>2</sup>로 제시하고 있으며, 1975년 신문철의 연

12) 이병영, 1970, 우리나라에서 처음 시도한 한강 아파트 지역난방 설비를 끝내고, 주택도시, 26, pp.74-80.

구<sup>13)</sup>에서는 전통온돌 주택의 단위면적당 난방부하를  $174\text{W}/\text{m}^2$ 으로 제시하고 있다. 또한 이진 등에 의한 1977년 연구<sup>14)</sup>에서는 연립주택의 단위면적당 난방부하를  $123\sim 173\text{W}/\text{m}^2$ 으로, 이병영 등에 의한 연구<sup>15)</sup>에서는 아파트의 단위면적당 난방부하를  $123\sim 150\text{W}/\text{m}^2$ 으로 제시하고 있다.

이후 주거건물의 난방부하는 지속적으로 감소되어 왔으며, 발코니 공간과 관련한 공동주택 난방부하에 관한 박석봉의 1996년 연구<sup>16)</sup>에서는 단위면적당 난방부하가  $80\sim 95\text{W}/\text{m}^2$  정도인 것으로 나타났다. 또한 국내 공동주택의 단위면적당 난방부하를 정밀 부하 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 산정한 이윤정의 2012년 연구<sup>17)</sup>에서는 단위면적당 설계 난방부하가  $40\text{W}/\text{m}^2$  수준까지 감소한 것으로 나타났다.

한편, 한국지역난방공사는 건물 유형과 난방면적에 따른 단위 난방부하를 제시하고 있는데, 2016년 개정된 「열사용시설기준」에서 서울 및 수도권 지역에 위치한 난방면적  $60\text{m}^2$  초과 공동주택(아파트)의 단위 난방부하로  $57.0\text{ W}/\text{m}^2$ 을 제안하고 있다.<sup>18)</sup>

### 2.1.3 에너지절약형 주거건물의 난방부하

미래 주거건물의 목표 모델로써 에너지절약형 주거건물이 다양한 형태로 제시되고 있으며, Passive House를 그 대표적인 예로 들 수 있다.

13) 신문철, 1975, 새마을 농어촌 주택 개선을 위한 새로운 난방법과 그 구조에 관한 연구, 건축(대한건축학회지), 19(62), pp.13-20.

14) 이진, 신종필, 1977, 주택용 복사난방방식 설계, 공기조화냉동공학(공기조화냉동공학회지), 6(2), pp.110-114.

15) 이병영, 유동열, 1977, 단지형 아파트 난방과 그 고려사항, 공기조화냉동공학(공기조화냉동공학회지), 6(3), pp.202-209.

16) 박석봉, 1996, 공동주택의 난방 부하에 관한 연구, 산업기술연구, 6, pp.39-52.

17) 이윤정, 2012, 국내 공동주택의 난방부하 특성을 고려한 바닥 복사난방 패널의 설계와 합리적 패널 적용에 따른 효과 분석, 서울대학교 대학원, 석사학위논문, pp.27-29.

18) 한국지역난방공사, 2016, 열사용시설기준, p.11.

2014년 11월 중국 북경에서 개최된 APEC 회의에서는 Energy Working Group(EWG)이 제출한 보고서 Nearly(Net) Zero Energy Building<sup>19)</sup>을 채택하였다. 이 보고서에는 중국, 일본, 한국, 캐나다와 미국 각국의 Zero Energy Building에 관한 정의 및 목표 등이 제시되어 있다. 우리나라는 Zero Energy Building을 ‘에너지 사용을 최소화하기 위해 단열 성능을 최대화하고, 자급자족을 할 수 있는 신재생에너지를 사용하는 건물’이라고 정의하고 있다. 또한, 정부는 2009년 Green Growth에서 3단계의 목표를 세웠으며, 2012년에는 기존 대비 50%, 2017년에는 기존 대비 80% 에너지 절약을 달성하여 Passive House 수준으로 건물을 짓고, 2025년에는 Zero Energy Building을 구현하는 것을 목표로 하였다.

‘Passive House’는 1988년 스웨덴 Lund 대학의 Bo Adamson 교수와 오스트리아 Innsbruck 대학의 Wolfgang Feist 교수의 공동 협력 작업에서 비롯되었으며, 1991년 독일의 Darmstadt Kranichstein에 지어진 4세대 주거 건물을 실질적인 시작으로 보고 있다. Passive House Institute에서 제시하는 Passive House의 요건은 다음과 같다.

- ① 난방에너지 요구량  $15\text{kWh/m}^2\text{a}$  이하 또는 난방부하  $10\text{W/m}^2$  이하  
 \*냉방이 필요한 기후에서는 냉방에너지 요구량  $15\text{kWh/m}^2\text{a}$  이하 또는 냉방부하  $10\text{W/m}^2$  이하
- ② 신재생에너지 요구량  $60\text{kWh/m}^2\text{a}$  이하
- ③ 기밀성능  $0.6\text{ACH}@50$  이하
- ④ 쾌적 : 연중  $25^\circ\text{C}$  이상의 온도 비율이 10% 이하

---

19) APEC Energy Working Group, 2014, Nearly (Net) Zero Energy Building, Asia-Pacific Economic Cooperation.

이상의 고찰로부터, 열관류율에 대한 기준 강화 등을 통한 단열성능 개선이나 건물의 기밀성능 향상 등에 의해<sup>20)</sup> 국내 주거건물의 설계 난방부하는 지속적으로 감소하고 있음을 확인할 수 있다.

또한 미래 주거건물의 목표 모델로 제시되고 있는 Passive House나 Zero Energy House 등과 같은 에너지절약형 주거건물에서는 설계 난방부하는 더욱 감소해 갈 것으로 판단<sup>21)</sup>되며, 이러한 변화는 향후 국내 주거건물의 난방설비 계획 및 운전을 위해 고려되어야 할 중요한 요인이다.

## 2.2 주거건물 난방설비 적용 현황

전통적인 온돌 난방방식으로 대표되던 우리나라 주거건물의 난방설비(heating system)는 1970년대에 온수 온돌난방(바닥 복사난방)이 도입된 이래로 온수를 이용하는 바닥 복사난방이 대표적인 난방방식으로 정착되어 대부분의 주거건물에 적용되고 있다.

복사난방은 실내의 바닥이나 벽 또는 천장을 온수나 공기 또는 전열(electric heat)을 이용하여 직접 가열하거나, 가열용 패널(panel) 등을 부착하여 방열체(heat emitter)로 하고 이 방열체로부터 방사되는 복사열에 의하여 따뜻함을 느끼도록 하는 것<sup>22)</sup>으로, 방열면인 복사패널(radiant panel)을 말단설비(terminal unit)로 채택한 난방설비이다.

온수를 이용하는 바닥 복사난방처럼, 생산된 열에너지(thermal energy)를 필요로 하는 공간으로 전달하기 위해 물을 이용하는 난방설비를 온수

---

20) 김혜진, 서동현, 2015, 단열기준변천에 따른 공동주택의 난방에너지 절감량 분석, 2015 한국건축친환경설비학회 추계학술발표대회 논문집, pp.141-142.

21) 이경미, 백희정, 조천호, 2012, 한국의 미래 냉방도일과 난방도일 변화 전망, 대한기계학회 논문집, 36(8), pp1-13.

22) 성순경, op. cit., p.353.

순환 방식 난방설비(hydronic heating system)라 하며, 열원(heat source or heat production unit)에서 물에 흡수된 열에너지는 분배설비(distribution system)를 통해 운송되어 최종적으로 방열설비(heat emitter or terminal unit)에 의해 난방공간에 배열된다.<sup>23)</sup>

난방설비는 난방열매(heat medium)의 생산과 공급 특성에 따라 개별난방(local heating, individual heating, or decentralized heating) 방식과 중앙난방(central heating) 방식으로 구분할 수 있다. 개별난방 방식은 열원기기(heat source, heat production unit)를 열부하가 발생하는 장소마다 개별적으로 분산 설치하여 열을 공급하는 난방방식으로, 개별 세대의 난방요구(heating requirement)에 비교적 빠르게 대응하는 장점이 있다. 이에 비해, 중앙난방 방식은 건물의 일부 공간에 보일러나 온풍로 등의 열원을 설치하고, 배관이나 덕트(duct)에 의하여 증기 또는 온수, 온풍 등의 열매를 분배하여 각 공간을 난방하는 방식으로, 개별 세대 내에 난방열원을 위한 별도의 공간을 필요로 하지 않으므로 개별 세대의 공간 활용도를 높일 수 있으며, 세대 내 보일러실 설치로 인한 안전 및 위생상의 문제도 없으며, 유지관리가 용이하다는 장점이 있다.<sup>24) 25) 26)</sup>

보다 큰 규모의 중앙난방 개념인 지역난방(district heating)은 도시 혹은 일정 지역 내의 열 수용가의 열 부하를 만족시키는 집중화된 고효율의 열원 플랜트(plant)를 설치하여, 여기에서 생산된 열매를 수송관을 통하여 각 수용가에 공급하는 난방방식이다.<sup>27)</sup> 개념상 중앙난방 방식과 유사하

23) John Siegenthaler, op. cit., p.3.

24) 성순경, op. cit., p.19.

25) 건축설비용어대사전 편찬위원회, 1997, 건축설비용어대사전, 기문당, pp.51, 900.

26) Walter T. Grondzik, Alison G. Kwok, Benjamin Stein, John S. Reynolds, 2010, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings(Eleventh Edition), John Wiley & Sons, Inc., pp.327, 378.

27) 김화국, 2013, 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지에서의 난방 유량공급 특성 및 개선 방안, 서울대학교 대학원, 석사학위논문, p.16.

므로 중앙난방과 같은 장점이 있으며, 거시적 관점에서 볼 때 에너지 수급이나 이용 효율 개선뿐 아니라 대기오염이 적은 난방 형태로, 동일 연료량에서 가장 많은 열을 생산하는 진보된 난방방식이라 할 수 있다.

국내 주거건물에는 개별세대 난방요구에 대한 대응 측면에서의 장점으로 인해 개별난방 방식의 채택이 점차 증가하고 있으며, 공동주택 단지 내에 자체 열원을 설치하여 각 세대에 난방열매를 공급하던 전통적인 중앙난방 방식은 감소하는 반면, 국가적인 차원의 에너지 수급, 난방에너지 소비 저감 및 유지관리 용이성 등의 장점을 가지는 지역난방 열원을 이용하는 광범위한 개념의 중앙난방 방식은 1980년대 말 국내에 도입된 이후 적용 사례가 점차 증가하고 있다.(그림 2.2<sup>28)</sup>)

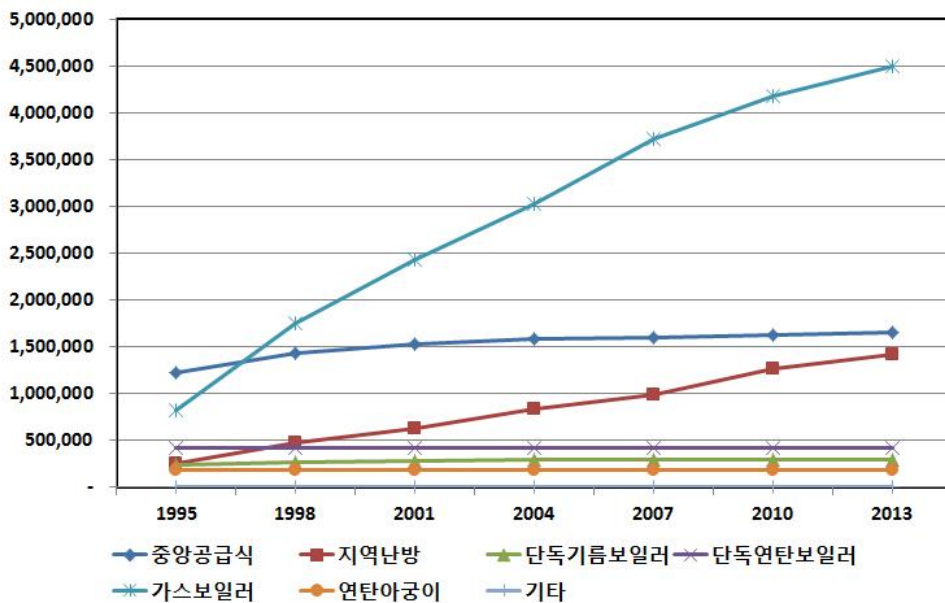


그림 2.2 국내 주거건물의 난방방식 현황 (단위 : 호)

28) KOSIS 국가통계포털, kosis.kr

본 절에서는 국내 주거건물의 대표적인 유형인 공동주택을 대상으로, 개별 가스보일러를 사용하는 개별난방 방식과 지역난방 열원을 이용하는 중앙난방 방식으로 구분하여 난방설비 적용 현황을 고찰하였다. 또한 문헌고찰을 통해 에너지절약형 주거건물의 난방설비 적용 현황을 분석하였으며, 열 사용설비의 수요대응 개선을 위한 설비대안을 조사하여 분석하였다.

## 2.2.1 국내 공동주택의 난방설비

### (1) 개별 가스보일러를 사용하는 개별난방 방식

개별 가스보일러를 사용하는 개별난방 방식의 국내 공동주택 적용 시, 대표적인 난방설비 구성(configuration)은 그림 2.3과 같은 계통으로 나타난다. 전체 난방설비는 순환펌프와 팽창탱크를 내장하는 가스보일러와 수동 밸런싱 밸브(manual balancing valve)와 조절밸브(control valve)를 포함하는 온수분배기(header), 난방배관을 포함하는 바닥 복사난방 패널(radiant floor heating panel) 등으로 구성된다.

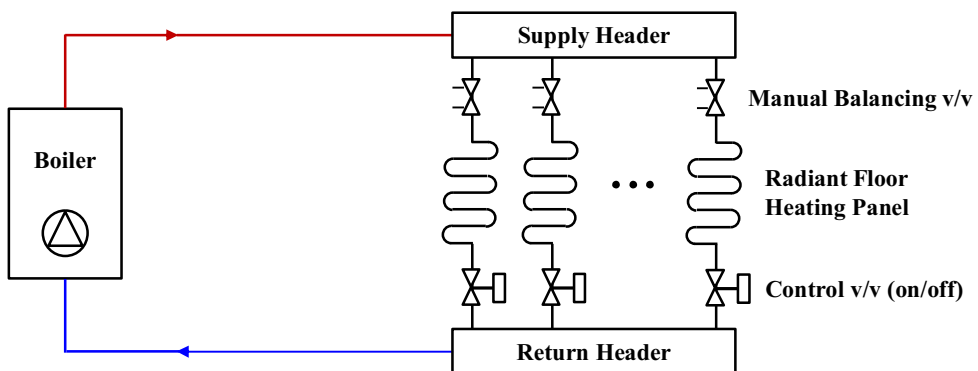


그림 2.3 개별 가스보일러를 열원으로 하는 바닥 복사난방 시스템 계통



## ① 열원설비

개별난방 방식을 채택하는 국내 공동주택에는 대부분 도시가스 또는 LPG를 연료로 사용하는 순간 가열방식의 개별 가스보일러가 적용되고 있으며, 1980년대 중반의 LNG 도입과 정부정책의 영향으로 천연가스 사용이 증대되면서 가스보일러의 수요가 급격히 증가하였다.<sup>29)</sup> 개별 가스보일러는 난방온수를 가열하는 버너(burner)와 난방온수를 순환시키는 순환펌프가 내장된 일체화된 형태로 생산되어 보급되고 있다.

개별 가스보일러는 일반적으로 급탕과 난방을 모두 담당하며, 난방부하에 비해 상대적으로 큰 급탕부하를 기준으로 적용되고 있다. 최근에는 보일러 생산업체의 기술 자료 및 경험을 바탕으로 난방면적별 용량을 제시하여 일반 소비자가 수월하게 보일러를 선택할 수 있도록 하고 있다. 한편 가스보일러 내에 포함되는 순환펌프는 보일러의 용량에 따라 보일러 제조회사에서 산정한 양정과 유량이 적용되며, 급탕과 난방을 모두 담당하는 개별 가스보일러의 특성 상 급탕온수의 순환을 기준으로 정해지는 것이 일반적<sup>30)</sup>이다. 한편, 난방부하에 비해 큰 급탕부하를 기준으로 용량이 산정되는 특성으로 인해, 개별보일러의 용량이 난방부하에 비해 3배 이상으로 산정된다는 해외 연구사례<sup>31)</sup> 있다. 한편 개선된 건물의 단열성능을 고려하지 않은 과도한 안전율(safety factor) 적용도 개별보일러 용량을 과잉 산정<sup>32)</sup>하는 원인이 되기도 한다.

---

29) 김승욱, 1999, 공동주택에서 온돌난방 시스템 적용에 관한 연구, 동국대 대학원 석사학위 논문, p.18.

30) 유미혜, 2013, 바이패스 방식을 이용한 개별난방시스템 개선 대안의 적용 효과 분석, 서울대학교 석사학위 논문, p.14.

31) L. Peeters, J. Van der Veken, H. Hens, L. Helsen, and W. D'haeseleer, 2008, Control of heating systems in residential building: Current practice. *Energy and Buildings* (40), pp.1446-1455.

32) L. Peeters, J. Van der Veken, H. Hens, L. Helsen, and W. D'haeseleer, 2007, Sizing of boilers for residential buildings, *Proceedings of Clima 2007 Conference*.

일반적으로 난방운전은 실내온도가 설정온도 하한보다 낮아져 실온조절기로부터 난방요구 신호가 감지되면 보일러는 가동되어 실에 난방온수를 공급하며, 실내온도가 설정온도 상한보다 높아져 난방요구가 없을 경우 보일러는 정지된다. 개별 가스보일러의 운전은 버너와 순환펌프의 운전으로 구분되며, 보일러 제조사에 따라 운전방식에 약간의 차이가 있으나, 주로 실내온도와 보일러의 출수온도에 의해 제어된다.

버너는 주로 실내온도와 보일러 출수온도 또는 환수온도에 의해 제어되며, 국내 공동주택에 적용되고 있는 가스보일러는 대부분 출력이 일정한 버너의 가동/정지에 의해 난방온수의 출수온도를 조절(그림 2.4)한다. 즉, 보일러의 출수온도(환수온도에 의해 제어하는 경우는 환수온도)가 설정온도 하한 이하로 낮아지면 버너가 착화되어 보일러 내의 난방온수를 가열하고, 출수온도가 설정온도 상한에 도달하면 버너의 운전이 정지된다. 국내 가스보일러의 경우 버너의 가동과 정지에 관계되는 출수온도 제어편차로 10~15℃ 정도가 적용되고 있는 것으로 조사되었다.

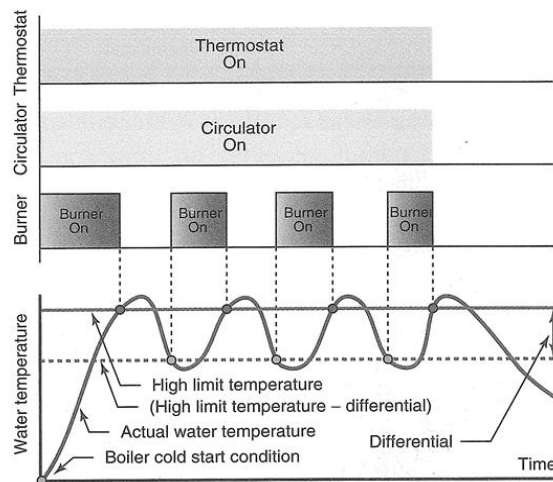


그림 2.4 개별 가스보일러의 운전 예<sup>33)</sup>

개별 가스보일러의 난방온수의 출수온도는 50~80℃ 범위로, 특정 값으로 고정되거나 사용자가 선택할 수 있도록 되어 있는데, 주로 55~60℃ 정도의 난방온수 온도가 적용되고 있으며 이는 과거로부터 큰 변화가 없는 온도이다.<sup>34)</sup>

최근에는 버너의 불꽃을 조절(modulating)할 수 있는 보일러가 출시되고 있으며, 버너의 불꽃은 주로 가스밸브의 비례제어나 급기 팬(fan)의 회전속도 제어를 통하여 조절된다. modulating 보일러는 난방온수의 출수온도를 감지하여 설정 값과의 편차에 따라 불꽃을 조절하는 경우가 있으며, 보일러 제조사의 기술력에 따라 조절방식은 상이하다.<sup>35)</sup>

보일러에 내장된 순환펌프는 실내온도와 설정실온의 차이에 따라 실온 조절기를 통해 난방요구가 감지되면 가동되고 난방요구가 사라지면 정지하는 것이 기본적인 운전방식이지만, 보일러 제조사마다 약간의 차이가 있다. 순환펌프가 실내온도에 의한 기본적인 운전 외에 난방온수의 출수온도에 의해서도 제어되는 경우, 출수온도가 순환펌프 작동온도 이하일 때에는 순환펌프가 정지하고 버너가 점화되어 출수온도가 순환펌프 작동온도 이상일 때에는 난방이 필요한 시간 동안 순환펌프가 가동되어 난방온수를 순환시키기도 한다.<sup>36)</sup> 또한 버너가 정지하여도 난방이 필요하면 순환펌프는 정해진 제어방식에 의해 일정시간동안 가동되기도 한다.

---

33) John Siegenthaler, op. cit., p.381.

34) 이윤정, 정창호, 여명석, 김광우, 2011, 국내 공동주택의 난방부하 특성을 고려한 바닥 복사난방 패널의 설계, 대한건축학회 논문집 계획계, 27(9), p.354.

35) 리령, 2016, 바닥 복사 난방시스템의 난방용량에 따른 개별보일러의 운전특성 및 난방 에너지 소비량 분석, 서울대학교 대학원, 석사학위논문, p.8.

36) 유미혜, op.cit., p.18-19.

## ② 분배설비

열원에서 공급된 난방온수는 온수분배기를 통해 각 실(room) 바닥 복사난방 패널의 난방배관으로 분배되며, 각 실의 난방배관을 순환한 난방온수는 다시 온수분배기로 통합되어 열원으로 환수된다. 각 실의 난방배관에는 일반적으로 미세유량조절밸브라고 불리고 있는 수동 밸런싱 밸브(manual balancing valve)와 실내온도에 의해 제어되는 실별 온도조절밸브(control valve)가 온수분배기에 일체화되어 설치된다.

공동주택 내 각 실의 난방부하는 실별로 상이하므로 각 실에 공급되는 난방온수의 설계유량도 다르게 산정된다. 또한 각 실의 바닥 면적이 다르므로 설치되는 배관의 길이가 달라지며, 이로 인해 각 실의 난방배관은 상이한 배관저항을 나타낸다.<sup>37)</sup> 병렬로 구성된 복수의 난방배관 회로(circuit)에서는 저항이 큰 회로일수록 해당 난방회로로 분배되는 유량이 감소한다. 따라서 바닥 면적에 의해 결정되는 배관길이는 각 실의 난방부하에 근거한 설계유량의 공급을 불가능하게 하며, 공급 유량의 불균형 현상을 유발한다. 각 회로에 수력학적 저항을 추가함으로써 이러한 유량 불균형을 해소하고 해당 실의 부하에 맞는 유량이 공급되도록 하는 것을 유량 밸런싱(hydraulic balancing)이라 하며, 실별 설계유량 및 저항을 계산하고 이에 따라 밸런싱 밸브의 개도를 설정한 후 고정하여 운전되는 방식을 수동 밸런싱(manual balancing)<sup>38)</sup>이라 한다.

국내 공동주택의 난방설비에서는 미세유량조절밸브라고 불리고 있는 수동 밸런싱 밸브를 통해 각 실의 난방회로에 수력학적 저항을 추가하여

37) 이규남, 2010, 복사냉난방 시스템의 성능평가를 위한 에뮬레이션에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문, p.100.

38) N. Couillaud, P. Riederer, M. Jandon, Y. Diab, 2005, Balancing operation for the optimization of hydronic networks, International conference for enhanced building operations.

설계조건에서 설계유량이 공급되도록 하고 있다. 즉, 설계조건에서 온수 분배기를 통해 각 실의 난방배관으로 분배되는 난방온수의 유량은 각 실의 난방회로에 설치된 수동 밸런싱 밸브에 의해 결정된다. 수동 밸런싱 밸브의 개도는 난방설비 시공 시 설정한 후 다시 조절하지 않는 한 난방 운전 중 고정되어 사용된다.

온도조절밸브는 실내온도 조건에 따라 개방 또는 밀폐됨으로써 실내온도를 설정범위 내로 유지하기 위해 실에 공급되는 열량을 조절한다. 대부분의 국내 공동주택에는 on/off 제어가 적용되고 있으며, 실내온도가 설정온도 하한보다 낮아지면 해당 실의 온도조절밸브가 개방되어 설계유량이 공급되며, 실내온도가 상승하여 설정온도 상한보다 높아지면 온도조절 밸브는 밀폐되어 난방온수 공급을 차단한다.

### ③ 말단설비

국내 공동주택의 말단난방설비는 대부분 바닥 복사난방 패널이 적용되고 있으며, 그림 2.5(좌)와 같이 비교적 열용량이 큰 모르타르(mortar)층에 난방배관을 매설하는 습식 바닥 복사난방 패널이 주로 적용되고 있다. 최근에는 습식 복사난방 패널의 느린 열적 반응속도를 개선하기 위해 경량화 된 건식 복사난방 패널의 적용 필요성이 제기되면서 제품의 개발과 연구가 다시 활성화 되고 있다.

건식 복사난방 패널은 시공 현장에서 물을 첨가한 후 경화를 기다리는 시멘트와 같은 재료를 사용하지 않으며, 습식 복사난방 패널에 비해 열용량이 작다. 또한 패널의 방열효과를 증대시키기 위해 열전도율이 높은 알루미늄, 갈바륨 강판, 메탈라스, 아연도금 강판 등의 재료를 열전도판으로 이용<sup>39)</sup>하고 있으므로, 습식 복사난방 패널에 비해 열전달 저항이

작다. 따라서 난방온수를 통해 복사난방 패널에 공급되는 열이 즉시 공간으로 전달되어 난방부하를 처리한다. 다양한 건식 복사난방 패널이 생산되고 있으며, 그림 2.5(우)는 그 중 한 종류의 단면을 나타낸다.

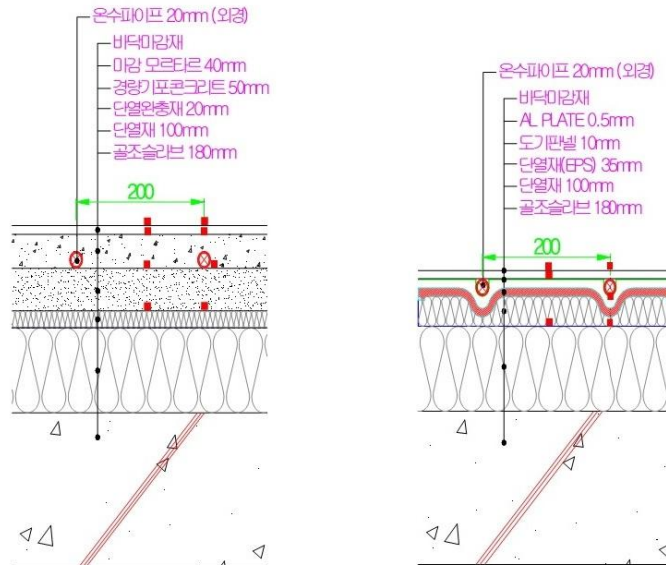


그림 2.5 습식패널(좌)과 건식패널(우)의 단면 구조<sup>40)</sup>

#### ④ 운전방식

온수순환 방식 바닥 복사난방 시스템의 도입 초기에는 주로 중앙열원을 공동주택 단지에 설치하여 난방열매를 공급하는 중앙난방 방식이 채택되었으며, 이 시기의 난방운전은 실내온도와 관계없이 정해진 운전시간 계획에 따라 난방온수를 공급하는 간헐운전 방식이 주로 적용되었다. 간헐운전 방식은 세대 내에 난방을 제어하기 위한 제어설비가 불필요하

39) 정창호, 이규동, 여명석, 김광우, 2013, 목업 평가(Mock-up Test)를 통한 바닥 건식난방 패널의 표면온도 분포 분석 및 개선 방안, 한국생활환경학회지, 20(4), p.491.

40) 정해권, 조동우, 유기형, 2009, 건식온돌과 습식온돌의 열전달 특성 비교 분석, 대한건축학회논문집 계획계, 25(11), p.317.

거나 세대 난방설비의 구성이 매우 단순하지만, 난방온수 공급시간을 적절히 조절해 줄 경우 바닥 복사난방 패널의 축열에 의해 난방온수가 공급되지 않는 기간에도 일정수준의 실내온도를 유지할 수 있었다. 그러나 실내온도 변화를 고려하지 않으므로, 난방운전 중 일정한 온수공급에 의한 과열(over heating) 우려가 있으며, 반대로 난방이 필요한 때에 난방온수가 공급되지 않아 쾌적 범위를 벗어난 낮은 실내온도가 유지되기도 하였다.

이와 같은 난방불쾌적을 개선하기 위해 단위세대의 대표실(주로 거실)에 온도조절기를 설치하여, 대표실의 실내온도를 해당 단위세대의 난방요구를 대변하는 기준 값으로 가정함으로써 해당 단위세대의 실내온도를 고려한 난방제어(대표실 난방제어)가 적용되었다. 이는 세대의 대표실에 설치된 온도조절기에 목표 실내온도를 설정하고, 온도조절기가 설치된 실의 온도를 기준으로 세대 난방온수기 주 배관에 설치된 on/off 조절밸브(on/off control valve)를 제어함으로써 세대 전체의 난방운전을 동시에 제어하는 방식으로, 온도조절기가 설치된 실보다 난방부하가 작거나 큰 다른 실에서는 과열이나 난방부족 현상이 발생하였다. 이러한 현상은 재실자 불쾌적의 원인이 되었으며, 난방이 불필요한 실까지 난방온수를 공급함으로써 인한 에너지 낭비의 원인이 되었다.

이러한 문제는 중앙난방 방식 뿐 아니라 대표실 난방제어가 적용된 개별난방 방식에서도 동일하게 나타났으며, 따라서 각 실의 난방요구에 따라 난방열량의 공급을 조절하기 위해 실별 제어방식을 적용하게 되었다.

실별 제어방식은 각 실마다 설치된 온도조절기를 통해 실별 목표 실내온도를 각각 설정할 수 있으며, 각 실의 온도를 기준으로 실별로 난방운전이 독립적으로 제어된다.

복사난방에서 공급열량의 구체적 제어방법은 일반적으로 공급온수 온도를 제어하는 방식과 공급온수의 유량을 제어하는 방식, 열 출력을 제어하는 방식으로 구분(표 2.2<sup>41)42)</sup>할 수 있으나, 현재 대부분의 국내 주거건물 난방운전은 실의 난방요구에 따라 난방온수를 공급 또는 차단하는 방식(on/off bang-bang control)이 적용되고 있다.

표 2.2 복사난방 제어 방식

제어인자 Control Parameters			공급온수온도 Supply Water Temperature		단위열량 Heat Flux
			온수온도 일정 Constant Temperature	온수온도 변화 Variable Temperature	
온수 유량  Flow Rate	유량 연속 공급 Continuous Flow	정유량 Constant Flow	—	외기보상 제어 Outdoor Reset Control	플렉스 제어 Flux Modulation
				외기보상 실온피드백 제어 Outdoor Reset with Indoor Temperature Feedback	
		변유량 Variable Flow	변유량 제어 Variable Flow Control	—	—
	유량 간헐 공급 Intermittent Flow	뱅뱅 제어 Bang-bang Control	개폐식 뱅뱅 제어 On/off Bang-bang Control	외기보상 개폐식 뱅뱅 제어 Outdoor Reset + Bang-bang Control	—
		펄스 제어 Pulse-Width Modulation (PWM)	개폐식 펄스 제어 On/off Pulse-Width Modulation	외기보상 개폐식 펄스제어 Outdoor Reset + On/off Pulse-Width Modulation	—

41) 여명석, 석호태, 김광우, 1998, 공동주택 온수온돌 바닥복사 난방시스템의 온수온도 제어방법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 14(12).

42) 여명석, 김광우, 1999, 공동주택 온수온돌 바닥복사 난방시스템의 제어방법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 15(3).



바닥 복사난방과 같은 온수순환 방식 난방설비에서 공급열량의 제어는 일반적으로 공급열량에 관한 식 2.1로부터 공급 온수유량과 공급 온수온도를 조작변수를 선정하여 수행된다.

$$Q_{output} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

여기서,  $Q_{output}$  : 바닥 복사난방 패널로부터의 방열량, W

$\dot{m}$  : 공급온수의 유량, kg/sec

$c_p$  : 공급온수의 비열, J/kg $^{\circ}$ C

$\Delta T$  : 공급-환수 온도 차이,  $^{\circ}$ C

공급 온수유량 제어는 공급열량을 조절하기 위해 일정한 온도의 온수를 공급하는 조건에서 유량을 조절하는 방식으로, 단속적인 개폐식 제어와 연속적인 변유량 제어로 구분할 수 있다. 개폐식 제어는 설정실온과 실제 실온의 차이에 따라 개폐식 밸브(on/off valve)를 제어하여 유량을 공급 또는 차단하는 방법으로 국내 주거건물 난방제어에 일반적으로 적용되는 제어방법이다. 변유량 제어는 설정실온과 실제 실온의 차이에 따라 비례적으로 작동하는 밸브를 제어하여 공급되는 온수의 유량을 조절하여 공급열량을 제어하는 방법이다.

공급 온수온도 제어는 일정한 유량을 공급하는 조건에서 온수온도를 조절함으로써 공급열량을 조절하는 방법으로, 외기보상 제어(outdoor reset control)와 외기보상 실온피드백 제어(outdoor reset with indoor temperature feedback control)가 대표적이다. 이러한 제어는 난방부하에 큰 영향을 미치는 외기온도를 기준으로 결정된 온도의 난방온수를 공급함으로써 난방부하에 적합한 열량을 공급한다는 개념의 제어방식이다.

## (2) 지역난방 열원을 이용하는 중앙난방 방식

지역난방 열원을 이용하는 중앙난방 방식의 경우, 말단설비인 바닥 복사난방 패널은 개별난방 방식과 동일하며, 난방온수를 생산하는 열원설비와 이를 각 세대로 분배하는 분배설비 상에 약간의 차이만 존재한다.

각 세대의 개별 가스보일러를 이용하여 세대에 필요한 난방 및 급탕온수를 생산하는 개별난방 방식과 달리, 지역난방 열원을 이용하는 중앙난방 방식은 지역난방 플랜트로부터 공동주택 단지로 공급받은 온수를 단지 내 기계실에서 난방 또는 급탕에 필요한 온도의 온수로 열 교환하여 각 세대에 공급한다. 따라서 중앙 기계실에서 각 세대로 난방온수를 공급하기 위한 공통 분배설비가 설치되지만, 각 세대로 공급된 난방온수는 개별 가스보일러를 사용하는 개별난방 방식에서 가스보일러를 제외한 세대 내 난방설비 구성(configuration)과 동일한 형태를 나타낸다. 다만, 중앙에 설치된 순환펌프에 의해 복수의 세대에 난방온수를 공급하는 관망(hydraulic network)의 특성 상, 인접세대에서의 난방 가동/중단에 따라 발생 가능한 해당 세대로의 유량편중 현상을 개선하기 위해, 세대로 공급되는 최대유량을 제한하는 정유량밸브(maximum flow limit valve)가 세대별로 추가되는 것이 개별난방 방식의 세대 내 난방설비와의 차이이다.

현재 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방설비는 주로 그림 2.6과 같은 계통으로 구성된다. 단지 또는 동 등의 담당 구획별 열교환기(Heat Exchanger)를 기준으로 1차 측(primary loop)과 2차 측(secondary loop)으로 구분할 수 있으며, 세대 내 설비를 포함한 각 영역별 주요 설비요소는 일반적으로 표 2.3과 같이 구성된다.

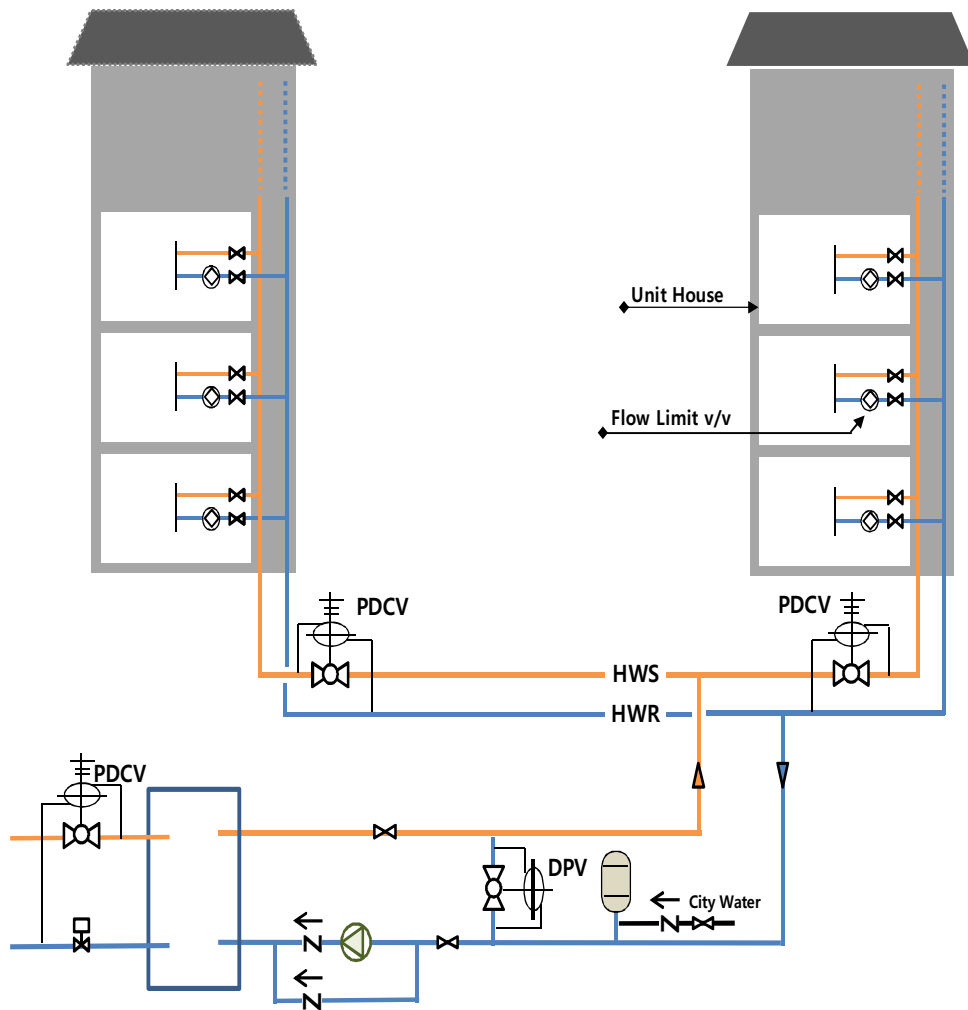


그림 2.6 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방설비 구성

표 2.3 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방설비 구성 현황

1차 측(primary loop)	차압유량조절밸브(PDCV), 온도조절밸브(비례제어)
2차 측(secondary loop)	순환펌프(변속), 열교환기별 차압조절밸브(DPV), 구획별 차압유량조절밸브(PDCV)
세 대	정유량밸브, 수동 밸런싱 밸브(미세유량조절밸브), 온도조절밸브(on/off)

한국지역난방공사는 단지 중앙에서 각 세대에 공급하는 난방온수의 온도를 60℃<sup>43)</sup>로 권장하고 있으며, 대부분의 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지에서 개별 세대에 60℃의 난방온수를 공급하고 있다. 한편, 난방 에너지 저감 등의 이유로 일부 공동주택 단지에서는 외기보상제어의 적용을 시도하고 있으나, 실제 운전 중에 나타나는 쾌적 및 에너지 소비와 관련한 민원으로 인해 대부분 고정된 온도의 난방온수를 공급하고 있다.<sup>44)</sup>

지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방설비 중 개별 가스보일러를 사용하는 개별난방 방식과 차이를 보이는 주요 설비요소는 다음과 같은 특징을 갖는다.

#### ① 차압유량조절밸브(PDCV, Pressure Differential Control Valve)

중앙에서 공급된 난방온수가 복수의 병렬 연결된 분배회로로 구성된 난방배관 망을 통해 분배되는 중앙난방 방식에서, 설계조건과 달리 특정 세대만 난방요구가 발생하는 부분부하 운전조건에서는 각 세대 분배회로는 설계조건과 다른 유량 및 압력조건을 형성한다. 이 경우 난방요구가 있는 세대로 설계유량에 비해 많은 유량이 공급(유량 편중)될 수 있으며, 설계조건과 다른 유량 및 압력 조건 하에서 세대 내 온도조절밸브 등 설비요소는 설계조건 하에서 기대되는 제어성능을 발휘하지 못하게 된다. 이 때 공급배관과 환수배관 사이의 압력 차이를 일정하게 유지해줌으로써, 해당 구획 내에 설치된 온도조절밸브의 authority를 유지<sup>45)</sup>하여 본래

43) 한국지역난방공사, 2016, 열사용시설기준, p.21.

44) 최창식, 리령, 정창호, 여명식, 김광우, 2015, 현장조사를 통한 지역난방 열원 사용 공동주택 단지의 열원 및 분배 시스템 운영현황 분석, 대한건축학회 2015년 추계학술 발표대회논문집, 35(2), pp. 313-314.

45) 최명식, 2012, 공동주택의 최적 밸런싱을 통한 에너지 절감과 시스템 효율 증진, 설비-공조 냉동 위생(한국설비기술협회지), 29(1).

의 제어성능을 달성할 수 있도록 할 수 있는데, 이러한 기능을 담당하는 설비요소가 차압유량조절밸브이다.

차압유량조절밸브는 diaphragm 및 spring, glove valve body 등으로 구성되는 자력식 밸브로, 공급배관과 환수배관에 연결되도록 설치된다. 해당 구획 내 온도조절밸브의 개폐에 따라 변화되는 압력에 의해 diaphragm 및 spring에 사전 설정된 힘의 균형이 변화하면, 이 변화에 의해 밸브가 작동하며, 그 결과 설정 차압을 지속적으로 유지시켜 준다. 따라서 해당 구획 내 온도조절밸브는 부분부하 조건에서의 전/후단 차압변화에 영향을 받지 않고 설정 차압조건에서 작동하게 되며, 본래의 제어성능을 유지하게 된다.

같은 개념으로 지역난방 플랜트로부터 공동주택 단지의 중앙 기계실로 분배되는 배관망에도 동일하게 적용할 수 있으며, 따라서 동일한 목적을 담당하는 차압유량조절밸브가 지역난방 열원을 이용하는 난방설비의 1차 측(열교환기 전단)에도 설치된다.

## ② 차압조절밸브(DPV, Differential Pressure Valve)

차압조절밸브는 그 구조 및 기능상 차압유량조절밸브와 유사하며, 공급배관과 환수배관의 압력 차이에 따라 난방유량을 우회순환(bypass)시키는 용도로 설치된다. 즉, 부분부하 운전조건에서 2차 측의 순환펌프에 의해 공급되는 난방온수가 필요유량보다 과잉 공급될 때, 공급배관과 환수배관 사이의 압력 차이가 설계조건을 초과하며, 이 때 공급되는 난방온수의 일부를 환수배관으로 바로 우회시킴으로써 차압조절밸브 후단의 난방회로 압력을 설정조건으로 유지시켜 준다.

그러나 유사한 기능의 차압유량조절밸브 및 차압조절밸브가 함께 설치되면서 두 밸브의 작성에 간섭현상을 유발하고, 이로 인한 불필요한 유량 공급이 이루어진다는 연구결과<sup>46)</sup>도 있다.

### ③ 정유량밸브(maximum flow limit valve)

정유량밸브는 설정치가 고정되지 않고 각 배관망에 공급되는 유량의 최댓값을 제한하는 자동 밸런싱 밸브(automatic balancing valve)로, 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 난방설비에서 인접세대의 난방중단으로 인해 해당 세대로의 유량 편중으로 인한 과잉 유량공급을 방지하기 위해 설치하는 밸브이다. 정유량밸브는 밸브 전단과 후단의 압력차이가 설정된 차압범위 내에서는 설계유량을 통과시키지만, 설정된 차압범위를 벗어나는 차압범위에서는 통과유량이 차압증가에 비례하여 증가<sup>47)</sup>하는 특징이 있다. 이러한 작동원리로 인해, 실별 제어방식을 적용하는 세대에서 설계유량보다 작은 유량을 필요로 하는 부분부하 운전조건(세대 내 일부의 실에서만 난방 가동)에서는 각 실로의 과잉 유량공급 현상이 발생한다는 연구결과<sup>48)</sup>도 있다.

이 외에, 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 난방설비에서 난방온수의 각 세대별 공급은 동 또는 구획별로 설치된 복수의 정속펌프의 대수 제어나 변속펌프를 통해 수행되고 있으며, 반송동력 저감을 위해 변속펌프의 적용이 증가하고 있다.

---

46) 김화국, 유미혜, 정창호, 여명석, 김광우, 2013, 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지에서의 난방시스템 유량 공급특성 분석, 대한건축학회논문집 계획계, 29(4), pp.267-274.

47) 이상오, 2009, 차압 컨트롤 밸런싱 시스템에 대한 이해, 설비-공조 냉동 위생(한국설비기술협회지), 26(6).

48) 김화국, 유미혜, 정창호, 여명석, 김광우, op. cit.

## 2.2.2 에너지절약형 주거건물의 난방설비

### (1) 에너지절약형 주거건물 난방설비 적용 특성

Zero Energy Building 실현을 위한 우선적 노력으로, 건물의 냉난방부하 저감을 위한 다양한 건축적 기법들이 적용·시도되고 있다. 이러한 노력은 1980년대 후반부터 1990년대 후반까지는 Passive Solar Design과 Super Thermal Insulation, High Performance Window, Airtight Construction, Passive ventilation, Solar Shading 기법 등의 순으로 적용되는 것으로 나타난다.<sup>49)</sup> 또한 2000년 이후에는 Thermal Insulation, High Performance Window, Thermal Mass 기법 등의 적용 비율이 높게 나타나고 있다.<sup>50)</sup> 이와 같은 건축적 기법을 통한 냉난방부하 저감 노력들은 상당한 효과를 달성하는 것으로 파악되며, Zero Energy Building 사례 분석 연구<sup>51)52)</sup>들에 소개되는 주거건물 중 건물 외피 열관류율 값이 제시된 일부 사례는 현재 국내 공동주택 열관류율 기준과 유사한 경우도 있어, 향후 국내 공동주택의 Zero Energy Building화에 대한 기대를 높이고 있다고 볼 수 있다.

부하저감 노력과 더불어 에너지 절약적인 냉난방설비의 개발과 적용도 활발해지고 있으며, 태양열원, 지중열원 등 신재생에너지 열원이나 폐열 활용설비 등이 주를 이루고 있다. 이러한 열원들은 기존 열원에 비해 상

---

49) Yasuhiro Hamada, Makoto Nakamura, Kiyoshi Ochifuji, Shintaro Yokoyama, Katsunori Nagano, 2003, Development of a database of low energy homes around the world and analyses of their trends, Renewable Energy(28), pp.321-328.

50) Danny H. W. Li, Liu Yang, Joseph C. Lam, 2013, Zero energy buildings and sustainable development implications - A review, Energy(54), pp.1-10.

51) Yasuhiro Hamada, Makoto Nakamura, Kiyoshi Ochifuji, Shintaro Yokoyama, Katsunori Nagano, op. cit.

52) Danny H. W. Li, Liu Yang, Joseph C. Lam, op. cit.

대적으로 저온의 열원이며, 이러한 열원에 적용 가능할 뿐 아니라 기존 대류방식에 비해 쾌적 및 에너지 절약 성능이 우수하다고 인정받고 있는 복사난방 시스템의 에너지절약형 주거건물 적용이 증가<sup>53)</sup>하고 있다.

Zero Energy Building에 주로 적용되고 있는 열원의 특성과 난방부하의 감소, 이로 인해 에너지절약형 주거건물 적용이 증가되는 바닥 복사난방 패널과 같은 말단설비의 특성은 에너지절약형 주거건물에서 주 열원과 보조열원을 통합 구성하여 운전하는 형태의 열 사용설비 적용을 유도하기도 한다. 이러한 경우 난방부하 또는 기저부하(base load)를 주로 저온 열원으로 처리하며, 발생빈도는 낮지만 큰 열 부하는 보조설비를 적용<sup>54)</sup>함으로써 열 사용설비에서의 에너지 소비 저감을 시도한다.

이러한 움직임은 다시 기존 열원설비의 에너지 성능 개선을 위한 시도로 연결되고 있는데, 감소된 난방부하에 의해 난방설비에 요구되는 공급 온수온도 조건이 완화됨으로써 높은 온도의 열매 공급으로 인해 발생하던 열 손실을 절감하고 과잉 열량공급으로 인한 에너지 낭비를 방지함으로써 건물에너지 저감을 도모하는 저온 지역난방(Low Temperature District Heating System<sup>55)</sup>)의 형태인 4세대 지역난방(4GDH, 4<sup>th</sup> Generation District Heating<sup>56)</sup>)이 그 대표적인 예다. 이러한 경우, 거주자가 재설하지 않을 때 주로 난방을 정지하거나 set-back 운전으로 전환하는 국내 경향과 달리, 기본적으로 연속난방 운전이 채택<sup>57)</sup>되고 있다.

---

53) Ivar Baldvinsson, Toshihiko Nakata, 2016, A feasibility and performance assessment of a low temperature district heating system: A North Japanese case study, Energy (95), pp. 155-174.

54) N. Lukic, 2005, The transient house heating condition—the daily changes of the building envelope response factor(BER), Renewable Energy (30), pp.537 - 549.

55) Ivar Baldvinsson, Toshihiko Nakata, op. cit.

56) Henrik Lund, Sven Werner, Robin Wiltshire, Svend Svendsen, Jan Eric Thorsen, Frede Hvelplund, Brian Vad Mathiesen, 2014, 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, Energy(68), pp.1-11.



한편, 사용자 심층면담을 통해, Passive House 기준을 고려하여 건축한 국내 에너지절약형 주거건물에서의 난방설비 적용과 운전특성을 조사하였다. 대상 주거건물은 대전광역시 소재의 2층 단독주택<sup>57)</sup>으로, 순간 가열방식 개별 가스보일러를 난방열원으로 하는 습식 바닥 복사난방 패널이 적용되었으며, Passive House 수준의 단열성능과 기밀성능 조건을 충족하고 있었다.

기존 주거건물에 비해 설계 난방부하가 매우 작았으나, 급탕부하를 기준으로 산정된 40,000kcal/h (46.5kW) 용량의 가스보일러가 적용되었다. 기존 난방운전에서처럼 60℃의 난방온수를 공급할 때 보일러의 잦은 기동/정지 현상에 의해 보일러 운전 자체에 제한이 있었으므로, 공급 온수 온도를 40℃로 설정하여 난방하고 있었다. 그러나 이 경우에도 보일러 운전시간이 일일 평균 5분 이하로 나타났으며, 이 과정에서 운전효율 저하로 인해 실제 난방비용의 절감 효과는 크지 않은 것으로 조사되었다.

한편 난방부하가 매우 작아 보일러에서 설정할 수 있는 최저 온도(40℃)로 운전하였음에도, 난방요구 대비 단위시간당 공급열량이 과잉 공급됨으로 인해 난방운전이 빠르게 중단되고, 이로 인해 바닥 표면온도는 매우 찬 상태가 유지되어 심한 불쾌적감을 느끼는 것으로 조사되었다.

국내·외 에너지절약형 주거건물 난방설비 적용 특성 고찰 결과, 에너지절약형 주거건물의 난방부하 감소, 전체 열 부하 감소에 의한 열원설비의 용량 감소와 그로 인한 열 사용설비의 열원설비 공유, 열 사용설비별 열에너지 공급 요구조건 차이 등에 대한 열원 및 관련 설비들의 대응 또는 운전방안에 대한 검토가 필요하며, 일부 그 대안들이 제시되고 있는 것으로 나타났다. 따라서 국내 주거건물의 Zero Energy Building 실현을 위해, 에너

---

57) N. Lukic, op. cit.

58) “람다하우스”라는 별칭을 가지고 있음.

지절약형 주거건물의 난방부하 및 운전 특성을 고려한 난방설비의 난방수요 대응 방안에 대한 검토가 요구된다. 이와 더불어 주거건물에서의 쾌적 및 난방에너지 저감을 위해 기존 주거건물의 난방수요 특성을 고려한 난방설비 대응 방안도 함께 고려되어야 한다고 판단된다.

## (2) 열 사용설비의 요구조건 대응기술 사례

건물에서의 열 부하 감소와 열에너지 요구조건, 열 요구의 다양성에 열 사용설비가 적절하게 대응하여 요구되는 성능을 발휘하며 에너지를 저감하기 위한 다양한 설비대안들이 제시되고 있다.

우리나라에 비해 상대적으로 주거건물 및 단지의 규모가 작으며 소규모 중앙난방 또는 지역난방 열원을 채택하는 경우가 빈번한 유럽의 경우, 동일한 온수열원으로부터 각 단위세대에 난방과 급탕을 동시에 제공하기 위한 설비대안들이 제안되어 적용되고 있다. 이 설비는 에너지 효율 측면에서의 중앙방식(centralized system)의 장점과 개별보일러의 독립적인 온도조절 장점을 모두 취할 수 있는 hydronic system으로, 하나의 통합된 설비로 점차적으로 감소하는 난방부하와 여전히 높은 급탕부하에 의한 서로 다른 열적 요구조건을 충족시키기 위해 제안되고 있다.

비록 급탕 온수온도 조절에 관심이 집중되어 있으나 개념 상 최종 사용자가 개별적인 쾌적 요구대로 온수온도를 조절할 수 있으며, 열원의 유형과 무관하게 적용할 수 있는 장점도 있다. 따라서 에너지절약형 주거건물 등 열원설비의 변화 및 통합 활용 등의 측면에서는 적용 타당성이 높은 것으로 판단된다. 한편, 이러한 hydronic system 적용 시 전통적인 중앙난방 방식에 비해 투자비용은 소폭 상승하지만, 에너지 비용이

기존 대비 70%까지 감소함으로 인해 경제성도 확보되는 것으로 보고<sup>59)</sup>되고 있다. 특히, 급탕운전 시 발생하는 열 손실을 저감할 뿐 아니라 순간 가열방식의 급탕 공급을 통해 Legionella Bacteria Growth Risk를 감소시키는 위생 상 장점 때문에 유럽을 중심으로 그 적용이 증가되고 있다.

현재 Caleffi, Danfoss, IVAR, Oventrop, LOVATO, Taconova, Therm, Uponor 등 다수의 해외기업에서 Heat Interface Unit(Caleffi), Flat Station (Danfoss), Heating Interface Units and Fresh Water Stations(IVAR), Dwelling Station(Oventrop) 등의 명칭으로 다양한 형태의 제품을 출시하여 공급하고 있다. 이러한 제품들은 주로 현재 주거건물의 난방부하 특성과 급탕 위주의 해법에 집중하고 있으며, 따라서 난방의 경우 중앙에서 공급되는 온수를 그대로 사용하는 형태의 제품을 중심으로 공급되고 있다.

이와 같은 동향에 영향을 받아 (주)경동나비엔, (주)구성이엔드씨, (주)상신 등의 국내 기업들에서도 유사한 개념과 목적의 제품들을 개발하고 있다.

이러한 hydronic system의 구성은 단위세대의 열적 요구조건 충족을 위한 조절방식에 따라 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫째는 유체의 온도와 압력이 hydronic system 내에 포함된 주요 설비요소(component)의 작동을 직접적으로 조절할 수 있도록 구성되어 있어 별도의 전자제어 장치가 요구되지 않는 기계적 제어 중심의 hydronic system이며, 둘째는 각종 감지장치(sensor)와 전자제어 장치에 의해 주요 설비요소의 작동을 조절하는 전자식 제어 중심의 hydronic system이다. 대표적인 기계적 제어 중심 hydronic system은 Danfoss사의 Flat Station이며, 대표적인 전자식 제어

---

59) Danfoss, 2014, Technical Handbook : Danfoss EvoFlat systems from A-Z (The lead on your project with an efficient system concept).

중심 hydronic system은 Caleffi사의 Heat Interface Unit이다. 따라서 본 절에서는 두 기업의 대표적 제품분석을 통해 기계적 제어 중심의 hydronic system과 전자식 제어 중심의 hydronic system의 특성을 고찰하였다.

#### ① 기계적 제어 중심의 hydronic system<sup>60)</sup>

대표적인 기계적 제어 중심 hydronic system인 Danfoss사의 Flat Station은 설치 구조, 난방온수의 공급 방식, 공급 온수온도의 범위, 설비용량, 급탕 및 난방 온수온도 조절방식 및 조절장치의 종류 등에 따라 다양하게 분류할 수 있다. 모든 제품 유형에서 급탕온수의 공급은 판형 열교환기에 의해 필요한 시기에 순간적으로 요구되는 온도의 급탕온수를 생산하여 공급하는 방식을 취하고 있으며, 따라서 열적인 특성을 고려하면 난방온수의 공급 방식에 따라 직접(direct) 공급방식과 간접(indirect) 공급방식으로 구분할 수 있다. 또한 직접 공급방식의 경우, 열원에서 공급된 온수를 그대로 난방에 이용하는 일반적인 직접 공급방식과 제어밸브(2 way control valve)와 세대 난방용 순환펌프, 바이패스 배관을 이용하여 세대 난방 공급 온수온도를 혼합조절(mixing)하는 방식으로 세분된다.

열원에서 공급된 온수를 그대로 난방에 사용하는 일반적인 직접 공급방식의 대표적인 모델로 Danfoss사에서는 EvoFlat FSS 모델을 공급하고 있으며, 그림 2.7-2.8과 같이 구성되어 있다.

이 hydronic system에서는 열원에서 공급되는 온수를 단위세대의 급탕 요구온도의 온수로 열 교환하는 판형 열교환기를 적용하고 있다. 판형 열교환기는 높은 열전달 효과가 있으며, 압력 손실이 낮고, 내구성이 높을 뿐 아니라 설비의 점유공간이 비교적 작은 장점을 지니고 있다.

---

60) Ibid.



그림 2.7 난방온수 직접 공급방식 설비

#### CIRCUIT DIAGRAM

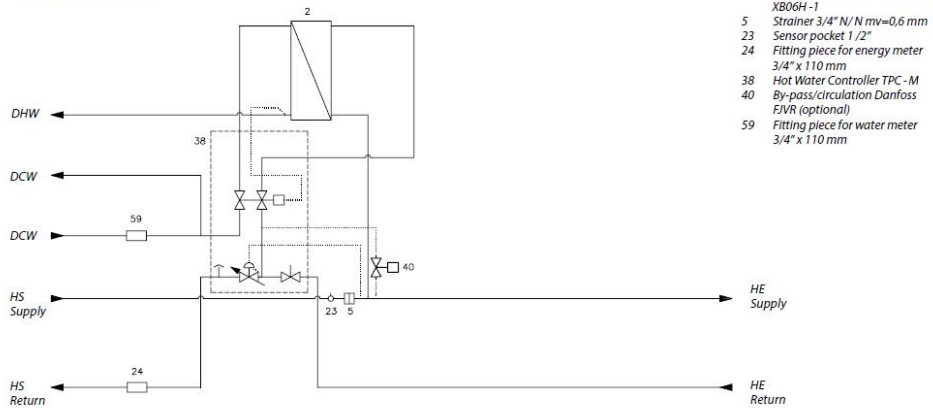


그림 2.8 난방온수 직접 공급방식 적용 시 계통

판형 열교환기 후단에 온도감지기(temperature sensor)가 설치되고, 감지된 공급 온수온도와 설정온도의 차이에 따라 판형 열교환기 전단에 설치된 조절밸브가 비례적으로 작동하여 단위세대에 공급되는 급탕온수의 온

도를 조절한다. 모든 제품에서 급탕은 이와 같은 방식의 순간 가열방식이 적용되고 있으며, 열교환기 전단의 조절밸브는 단위세대 내 급탕 배관에서의 유량 흐름이 감지되면 기계적인 신호에 의해 작동을 시작한다. 한편, 이 조절밸브는 내장된 **diaphragm**의 작동에 의해 열원으로부터의 공급배관과 환수배관의 압력 차이를 일정하게 유지하여, 제어성능을 확보하는 기능도 포함하고 있는 것이 특징이다.

열원에서 공급된 온수를 그대로 세대 난방에 활용하는 유형과 유사하게 구성되지만, 단위세대 난방 환수배관에 순환펌프와 2방 조절밸브를 설치하고 공급배관과 환수배관에 바이패스 배관을 설치하여 환수되는 난방온수와 공급되는 난방온수를 혼합하여 난방 공급 온수온도를 조절하는 방식의 대표적인 모델(EvoFlat MSS)은 그림 2.9-2.10과 같이 구성된다.



그림 2.9 난방온수 직접 공급방식  
설비(with mixing loop)

# CIRCUIT DIAGRAM

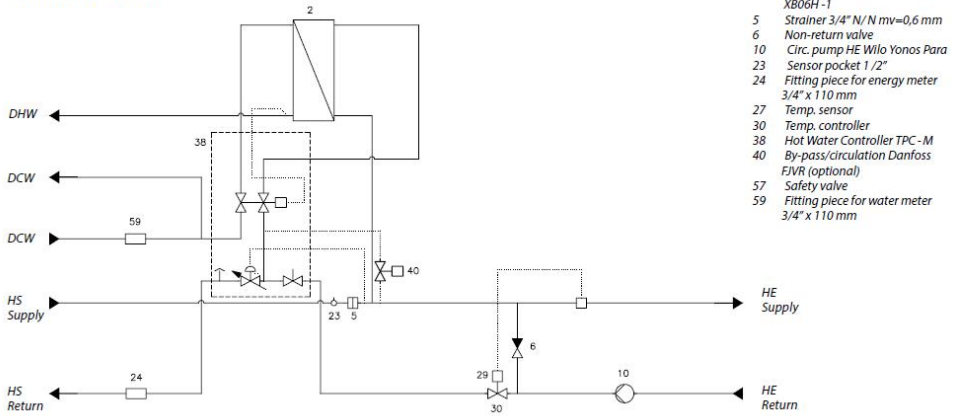


그림 2.10 난방온수 직접 공급방식(with mixing loop) 적용 시 계통

급탕 온수온도 조절과 마찬가지로, 열원에서 공급된 온수를 판형 열교환기를 통해 단위세대에 요구되는 온도의 난방온수로 열 교환하여 공급하는 대표적인 모델(Termix VVX-I)은 그림 2.11-2.12와 같이 구성된다.



그림 2.11 난방온수 간접 공급방식 설비

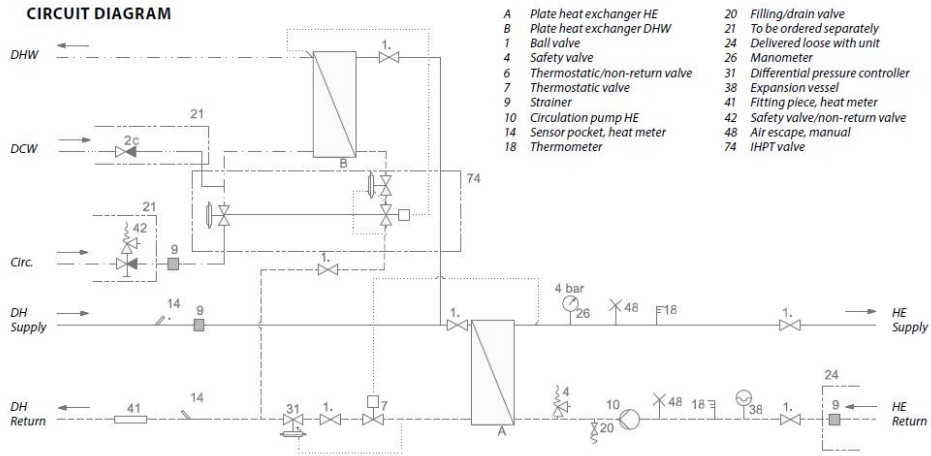


그림 2.12 난방온수 간접 공급방식 적용 시 계통

이 유형의 경우, 난방 공급 온수온도 조절을 위한 설비요소는 전자식 제어 방법이 부분적으로 도입되고 있다.

## ② 전자식 제어 중심의 hydronic system

대표적인 전자식 제어 중심 hydronic system인 Caleffi사의 Heat Interface Unit은 설치 구조, 난방온수의 공급 방식, 온수 생산과 사용 시기와의 관계, 세대에 공급되는 난방온수의 온도 범위, 조절 방식 등에 따라 다양하게 분류할 수 있으며, 이러한 분류 기준에 따른 각 유형의 제품은 특정 설비요소(component)의 포함 여부가 결정되며, 열(thermal) 및 수력학(hydraulic)적 특성을 가지게 된다.

모든 제품 유형에서 급탕온수의 공급은 판형 열교환기에 의해 필요한 시기에 순간적으로 요구되는 온도의 급탕온수를 생산하여 공급하는 방식을 취하고 있으므로, 난방온수의 공급 방식에 따라 직접(direct) 공급방식과 간접(indirect) 공급방식으로 구분할 수 있다. 또한 간접 공급방식의 경우 필요한 시기에 난방온수를 생산하는 순간식(instantaneous)과 미리 생



산된 난방온수를 저장하였다가 필요한 시기에 사용하는 축열식(stored)으로 세분할 수 있다. 이렇게 세분된 다양한 제품들은 단위세대에 공급되는 온수온도의 범위에 따라 포함되는 열교환기의 용량을 조절하여 Low Temperature, Medium Temperature, High Temperature-용 모델로 구분된다.

열원에서 공급된 온수를 그대로 난방에 사용하는 직접 공급방식의 대표적인 모델(SATK20 series)은 그림 2.13-2.15와 같이 구성된다.<sup>61)</sup> 이 hydronic system도 판형 열교환기를 통해 단위세대에 요구되는 온도의 급탕온수를 생산하여 공급한다. 그러나 판형 열교환기 후단의 온도감지기에서 감지된 공급 온수온도에 따라 전자제어 장치에서 연산을 통해 2방 조절밸브로 제어신호를 전달하고, 이 신호에 의해 열교환기 전단에 설치된 조절밸브가 비례적으로 작동하여 단위세대에 공급되는 급탕온수의 온도를 조절하는 것이 기계식 제어 적용 제품과의 차이점이다.



그림 2.13 난방온수 직접 공급방식 설비

61) Caleffi, Technical Brochure No. 01209.

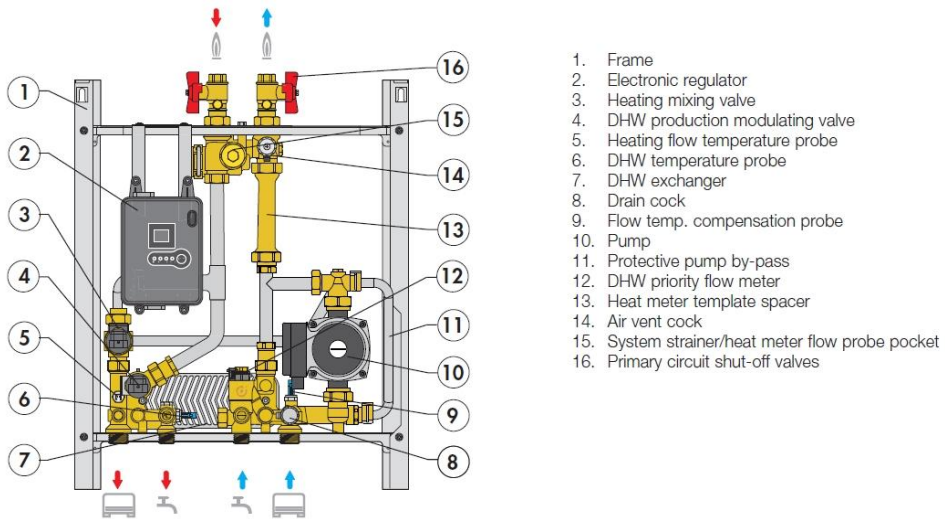


그림 2.14 난방온수 직접 공급방식 설비의 주요 component

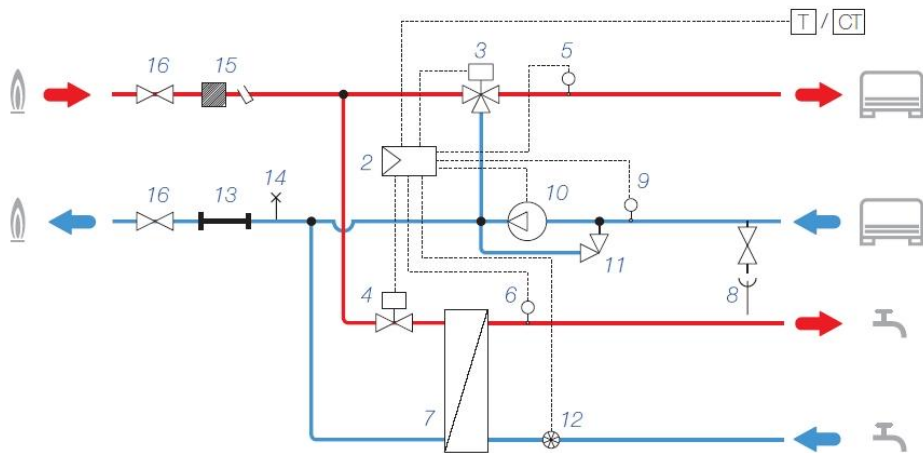


그림 2.15 난방온수 직접 공급방식 적용 시 계통

난방온수의 경우에는 3방 혼합밸브(3 way mixing valve)와 순환펌프를 설치하여 전자제어에 의한 공급 온수온도 조절 방식이 적용되고 있다.

그림 2.16-2.18은 열원에서 공급된 온수를 이용하여 열교환기를 통해 난방온수 온도를 조절하여 난방에 활용하는 유형의 제품 구성이다.<sup>62)</sup> 이 모델은 3방 혼합밸브 대신 2방 조절밸브와 판형 열교환기를 적용하여 열원에서 공급되는 배관망과 세대 내의 난방배관 망을 분리하는 것이 특징이다.

한편, 그림 2.19-2.20은 3방 전환밸브(3 way diverting valve)를 이용하여 열원에서 공급된 온수를 이용하여 열교환기를 통해 난방온수 온도를 조절하여 난방에 활용하거나 축열조에 저장된 온수를 난방 및 급탕에 활용하는 유형의 제품 구성을 나타내고 있으며<sup>63)</sup>, 이러한 제품은 태양열과 같은 신재생에너지와의 통합 적용 시 활용 가능하다.



그림 2.16 난방온수 간접 공급방식(순간 가열) 설비

62) Ibid.

63) Caleffi, Technical Brochure No. 01216.

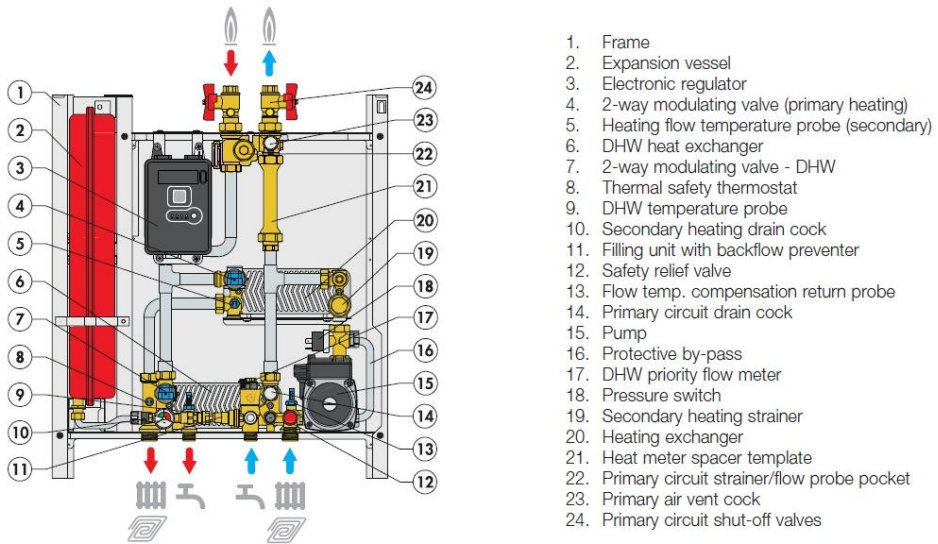


그림 2.17 난방온수 간접 공급방식(순간 가열) 설비의 주요 component

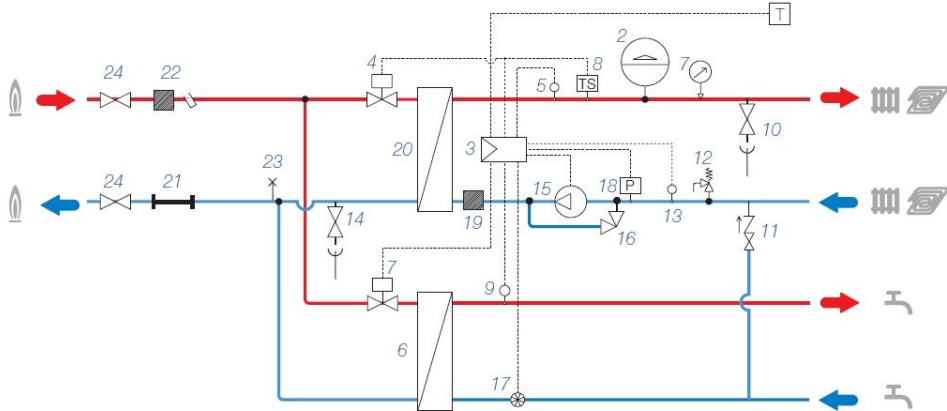


그림 2.18 난방온수 간접 공급방식(순간 가열) 적용 시 계통

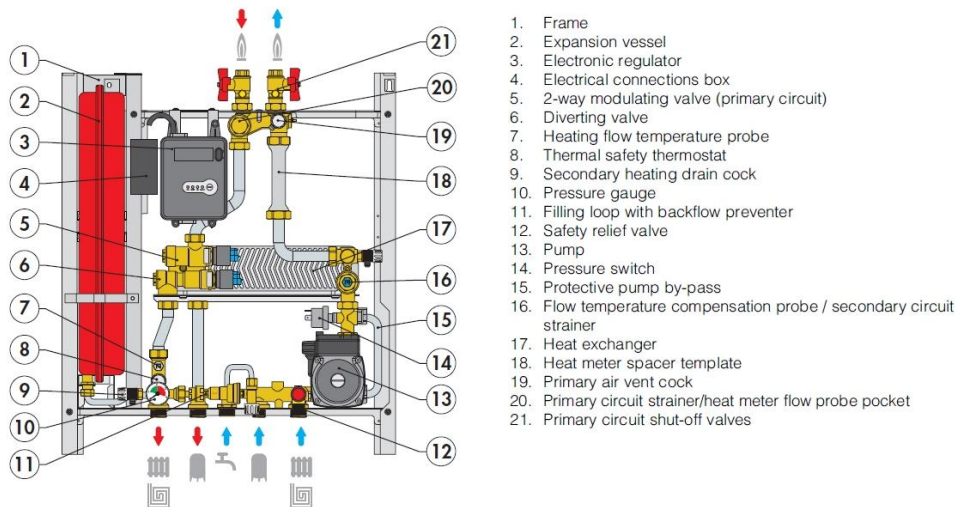


그림 2.19 난방온수 간접 공급(순간 가열) 또는 축열방식 설비의 구성

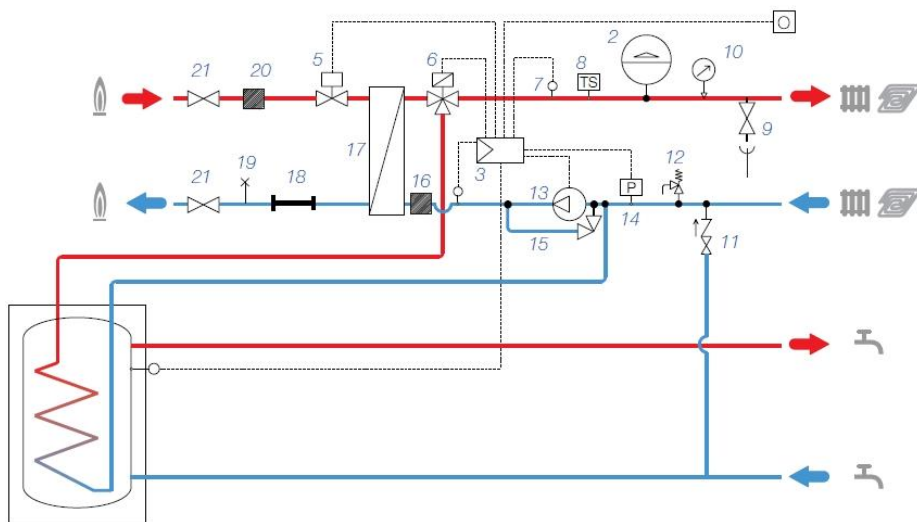


그림 2.20 난방온수 간접 공급(순간 가열) 또는 축열방식 적용 시 계통

## 2.3 소 결

본 장에서는 문헌고찰과 사례 분석을 통해, 국내 주거건물의 설계 난방부하의 변화와 난방설비 적용 현황 및 특성, 에너지절약형 주거건물의 특징과 난방설비 적용 동향을 고찰하였으며, 열 사용설비의 수요대응 성능 개선을 위한 최근의 설비대안을 조사하여 분석하였다.

(1) 단열성능 개선이나 기밀성능 향상 등에 의해 국내 주거건물의 설계 난방부하는 지속적으로 감소하고 있으며, 최근에는 단위면적당 설계 난방부하가  $40\text{W/m}^2$  수준까지 감소한 것으로 나타났다. 특히, 에너지절약형 주거건물의 설계 난방부하는 더욱 감소하여, 단위면적당  $10\text{W/m}^2$  수준에까지 달성할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 난방설비는 난방공간을 희망하는 온도로 유지하기 위해 공급해야 할 손실열량(난방부하)에 근거하여 계획되고 적용된다. 국내 주거건물 난방설비의 경우, 주거건물의 실제 난방부하와 바닥 복사난방 패널(radiant heating panel)의 방열량(heat output or heating capacity)에 대한 고려 없이, 과거의 난방설비 계획에서 세대 위치나 세대 내 실의 위치 및 용도에 따라 배관의 배치간격만을 달리해서 관행적으로 적용하는 형편이다.

(3) 국내 주거건물의 난방설비 적용 특성 고찰 결과, 난방에너지 절감 및 난방성능 개선을 위해 주거건물의 열적 특성 및 난방부하 변화 등 난방수요 특성을 고려한 난방설비 구성(configuration) 및 운전방안에 대한 재검토가 요구된다.

(4) 국내·외 에너지절약형 주거건물 난방설비 적용 특성 고찰 결과, 에너지절약형 주거건물의 난방부하 감소, 전체 열 부하 감소에 의한 열원설비의 용량 감소와 그로 인한 열 사용설비의 열원설비 공유, 열 사용설비별 열 에너지 공급 요구조건 차이 등에 대한 열원 및 관련 설비들의 대응 또는 운전방안에 대한 검토가 필요하며, 주거건물의 **Zero Energy Building** 실현을 위해 에너지절약형 주거건물의 난방부하 및 운전 특성을 고려한 난방설비의 난방수요 대응 방안에 대한 검토가 요구된다. 이와 더불어 주거건물에서의 쾌적 및 난방에너지 저감을 위해 기존 주거건물의 난방수요 특성을 고려한 난방설비 대응 방안도 함께 고려되어야 한다고 판단된다.

(5) 건물에서의 열 부하 감소와 열에너지 요구조건, 열 요구의 다양성에 대응하기 위한 설비대안으로써, 동일한 온수열원으로부터 급탕과 난방을 동시에 제공하기 위한 **hydronic system** 사례를 분석하였다. 이 사례들의 경우 난방보다는 급탕 온수온도 제어에 관심이 집중된 경향을 보이고 있었으며, 초기 도입단계에 있는 관계로 열 수요에 대한 대응방안에 대한 분석이나 검증은 부족한 형편이다. 그러나 동일한 개념을 난방에 적용함으로써 에너지절약형 주거건물에서의 열원통합 경향과 다양한 난방수요에 대한 대응이 가능할 것으로 판단되며, 이 경우 난방수요 대응 방안과 그 효과에 대한 검증이 요구된다.

---

## 제 3 장 Hydronic Thermal Energy System의 평가체계

- 3.1 난방거동 영향인자
  - 3.2 평가항목
  - 3.3 평가조건 및 대상
  - 3.4 소결
- 

### 3.1 난방거동 영향인자

설계 난방부하의 지속적인 감소와 특정 조건 기준의 난방설비 설계 특성 및 난방부하를 고려하지 않는 관행적 적용, 열원방식과 용량산정 특성, 외기조건 및 난방운전 형태, 건물과 난방설비의 열적 특성 등은 독립적 또는 상호작용함으로써 난방운전 중 난방수요 변화와 난방설비의 대응 및 그 결과에 영향을 미치는 주요 요인들이다. 난방수요 변화에도 불구하고 난방설비가 적절한 난방성능을 유지하면서도 난방에너지 소비를 저감하기 위해서는 난방수요 변화 시 나타나는 난방설비의 거동 특성과 난방운전의 결과, 즉 난방설비의 운전특성과 난방공간의 열적 특성 및 난방에너지 소비 특성을 파악하여 난방설비의 계획과 운전에 반영해야 할 것이다.

‘난방수요’는 난방운전 중 열쾌적 조건을 유지하기 위해 난방공간에 공급되기를 기대하는 열량으로 정의할 수 있으며, 시간에 따라 지속적으로



변화하는 것을 고려하여 실내 설정조건을 유지하기 위한 ‘단위시간당 요구열량’의 개념으로 볼 수 있다. 이러한 난방수요 개념을 고려한다면, 난방수요 해결 과정에서 나타나는 난방설비의 대응은 운전 중 난방공간으로 방열되는 ‘단위시간당 공급열량’으로 고려될 수 있다. 즉, 난방수요에 대한 난방설비의 대응은 단위시간당 요구열량에 대한 단위시간당 공급열량의 관계로 환원할 수 있다. 이상적인 난방설비의 운전은 단위시간당 요구열량과 동일한 열량을 생산하여 난방공간으로 전달하는 과정으로 볼 수 있으며, 단위시간당 생산열량의 크기는 분배설비와 말단설비의 특성에 따라 단위시간당 공급열량 및 요구열량의 크기와 차이가 있을 수 있다.

본 절에서는 주거건물 난방수요 변화에 따른 난방설비의 열적 거동 특성 분석을 통해, 난방 및 에너지 성능 개선을 위한 난방설비 요구조건을 도출하기 위한 사전 연구로, 주거건물 난방수요 변화와 이에 대응하여 운전되는 난방설비의 열적 거동에 영향을 미치는 인자들을 선정하였다.

선정된 영향인자들을 고려하여, 난방수요 변화에 따른 난방설비 운전 특성과 Hydronic Thermal Energy System의 수요대응 성능평가를 위한 평가 체계를 수립(3장)하였다.

난방수요 변화와 난방설비의 열적 거동 관련 인자들은 난방부하(수요)와 이에 대한 처리(대응) 과정으로 구분하여 분석할 수 있으며, 난방공간에서의 수요-대응 개념을 그림 3.1에 나타내었다. 난방수요는 난방설비가 대응해야 하는 기본조건으로, 난방수요에 따른 난방성능 및 에너지 소비 특성 분석의 경계조건(boundary condition)으로 적용될 수 있으며, 이에 대한 난방설비의 대응 관련 인자들은 난방설비의 열적 거동, 난방성능 및 에너지 소비 특성 분석을 위한 조작변수로 적용될 수 있다.

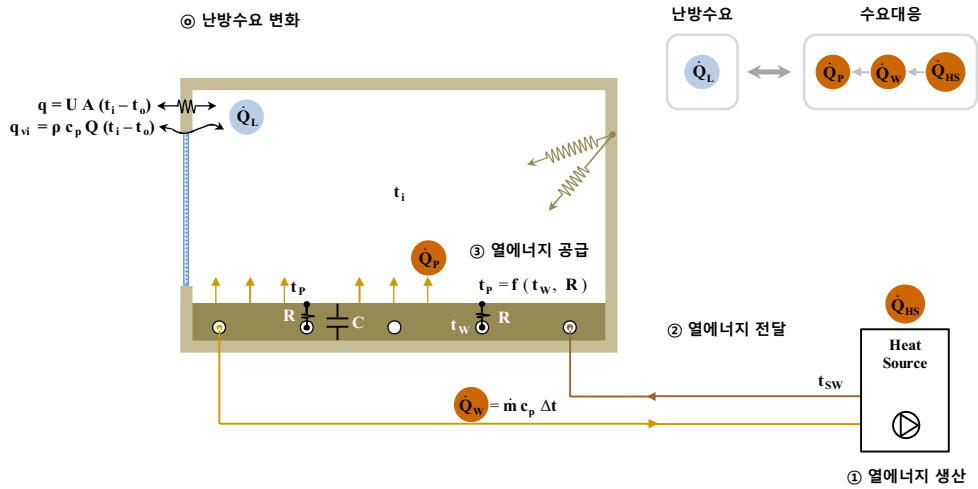


그림 3.1 난방수요에 대한 난방설비의 대응 개념

### 3.1.1 난방수요 영향인자

요구되는 조건으로 실내 열 환경을 유지하기 위해 난방공간에 공급해야 할 단위시간당 요구열량으로 정의되는 난방수요의 개념을 고려할 때, 난방수요 영향인자는 난방부하로 검토될 수 있다.

난방부하는 관류에 의한 난방부하와 침기 및 환기에 의한 난방부하로 구성되며, 건물외피의 열관류율과 외피 면적, 도입외기의 양, 실내온도와 외기온도에 의해 결정된다. 주거건물에서 외피의 열관류율과 외피 면적, 도입외기의 양은 단위시간당 요구열량의 최댓값, 즉 설계 난방부하에 영향을 미치며, 외기온도는 운전 중 난방부하 변화에도 영향을 미친다. 그러나 이 인자들은 주거건물이 시공되면 고정되는 인자들로, 시공시기의 관련 규정 등에 의해 선정·적용되어 주거건물의 전반적인 열 성능을 결정지을 뿐 아니라 난방운전 중 임의로 조절할 수 없는 인자들이다.

따라서 이 인자들은 난방수요 변화에는 영향을 미치지만, 분석을 위해 선정된 대상건물의 건축적 특성과 지역기후에 의해 결정되므로, 난방수요에 영향을 미치는 인자가 아닌 분석을 위한 경계조건으로 활용하였다.

한편, 설계 난방부하는 순간 최대 난방부하로, 최저 외기온도 조건하에서 실내온도가 설정온도(설계 실내온도)로 유지되고 있는 상태에서의 건물에서의 손실열량으로 계산되고, 이 손실열량을 난방공간에 공급해 줄 수 있도록 난방설비의 용량이 계획된다. 그러므로 실내온도가 설정 실내온도와 다른 조건에서는 설정 실내온도를 유지하기 위해 난방설비가 난방공간에 공급해야 할 열량이 달라질 수 있다.

난방운전 중 설정온도를 변경하거나 일정기간 난방을 정지했다가 재가동하는 등의 경우가 이에 해당된다. 특히 국내 주거건물에서는 에너지 소비 저감을 위해 낮 시간대나 비재실 기간에는 대부분 난방을 정지하는 경향이 있으므로, 연속운전이 아닌 상태에서 난방을 시작할 때는 목표 실내온도 조건에서의 손실열량 외에 해당 조건에 도달하기까지의 추가적인 열량 공급을 필요로 한다.

따라서 난방수요 변화의 영향요인으로 난방운전 방식이 고려되어야 한다.

공간을 사용하는 시간대만 난방하고 기타의 시간은 난방장치의 운전을 정지하는 난방방법을 간헐난방(*intermittent heating*)이라 하며<sup>64)</sup>, 간헐난방시 실사용 개시시각까지 설정치까지 실온을 상승시키기 위해 빨리 난방을 개시하는 것을 예열(*preheating, warm-up, or pick-up*)이라 한다<sup>65)</sup>. 간헐난방에서 예열 중의 난방부하를 예열부하(*preheating load or pick-up load*)라 하며, 최대 난방부하는 통상 예열 중에 발생한다.<sup>66)67)</sup>

64) 현대건축관련용어편찬위원회, 2011, 건축용어사전, 성안당.

65) 건축설비용어대사전 편찬위원회, *op. cit.*, p.672.

바닥 복사난방과 같은 온수순환 방식 난방설비에서는, 보일러 운전을 개시하여 말단설비인 바닥 복사난방 패널을 정상상태가 될 때까지 장치 내의 물과 여러 난방장치를 소정 온도까지 가열하는데 필요한 열량을 예열부하로 볼 수 있으며<sup>68)69)</sup>, 식 3.1에 의해 계산<sup>70)</sup>된다.

$$H' = (M_w C_w + M_m C_m) (t - t_o) \quad (3.1)$$

여기서,  $H'$  : 예열에 요하는 열량(예열부하) [kJ]

$M_w$  : 장치 내의 전 수량 [kg]

$M_m$  : 보일러, 배관 등 장치의 질량 [kg]

$C_w$  : 물의 비열 [kJ/kg · °C]

$C_m$  : 장치 재료의 비열 [kJ/kg · °C]

$t$  : 운전 시의 온수 평균온도 [°C]

$t_o$  : 운전개시 전의 물의 온도 [°C]

한편, 연속운전 난방부하에 예열부하 계수를 곱하여 예열부하추정법으로 최대 난방부하를 구하는 경우도 있다.<sup>71)</sup>

예열부하가 비교적 클 경우, 간헐운전에서 난방 개시 후 실내 설정온도에 도달하는 시간이 지연되어 해당 기간 동안의 난방 불쾌적을 유발할 수 있다. 비교적 큰 열용량을 가지는 바닥 복사난방 패널의 경우 이러한

66) Ibid.

67) 현대건축관련용어편찬위원회, op. cit.

68) 공조설비용어사전 편찬회, 2011, 공조냉동건축설비 용어사전, 일진사.

69) 성순경, op. cit., p.298.

70) Ibid.

71) 건축설비용어대사전 편찬위원회, op. cit.

난방 불쾌적 유발 가능성이 더 크며, 이는 실내 건축자재의 열용량에 따라서도 영향을 받을 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 실제 난방요구 시점보다 먼저 난방설비를 운전하는 방법이 채택되기도 하며, 난방정지 시 실내온도의 하한을 설정하여 일정 온도까지 실내온도가 하강할 때 난방운전을 재개하여 실제 난방수요가 발생했을 때 실내 설정온도에 빠르게 도달하게 하는 목적의 **set-back** 운전이 채택되기도 한다.

이상의 서술처럼, 난방부하 계산에 관련된 영향인자 외에 난방운전 형태에 따라 난방수요가 변화한다. 따라서 난방운전 형태를 난방수요 영향인자로 선정하였으며, 난방운전 형태는 연속난방과 간헐난방으로 구분하여 검토하였다.

### 3.1.2 수요대응 영향인자

난방수요에 대한 난방설비의 대응은 단위시간당 요구열량을 생산·전달하여 해당 난방공간에 공급하는 과정으로, 온수를 이용하는 바닥 복사난방 패널이 적용된 주거건물에서는 열원에서 열에너지를 생산하여 배관내를 흐르는 온수를 통해 복사난방 패널에 전달하고, 복사난방 패널에 전달된 열에너지는 복사난방 패널 표면으로의 전달 과정을 거쳐 최종적으로 난방공간에 공급된다. 바닥 복사난방 시스템의 이러한 대응 과정은 크게 열에너지를 생산하는 과정과 열에너지를 전달·공급하는 과정으로 구분될 수 있으며, 각 과정에 관계되는 인자들에 의해 난방설비의 운전특성과 그로 인한 난방성능 및 에너지 소비 특성이 영향을 받게 된다.

온수순환 방식 난방설비(hydrionic heating system)에서는 열원에서 생산된 열에너지가 난방공간에 공급되는 열매(heat medium)인 온수의 온도로 구현된다. 한편, 온수가 열원으로부터 복사난방 패널에 전달되는 과정에서 열 손실을 고려하지 않는다면 바닥 복사난방 패널 내의 온수는 곧 열원에서 생산된 열에너지의 형태로 간주될 수 있으므로, 난방 공간 내로 범위를 한정할 경우 바닥 복사난방 패널 내의 온수는 열원의 역할을 하는 구성요소로 볼 수 있다. 따라서 열원설비에서 생산된 열에너지의 전달 매개인 열매(heat medium)의 온도조건을 열에너지 생산 과정에서의 난방수요 대응 관련 영향인자로 선정하였다.

한편, 바닥 복사난방 패널 내의 온수로부터 배관 벽으로 전달된 열에너지는 복사난방 패널의 각 layer를 통하여 전달되어 최종적으로 바닥 표면온도에 영향을 미치며, 이 표면온도의 크기에 따라 복사와 대류를 통해 난방공간에 최종적으로 공급되는 열량이 결정된다. 따라서 배관, 모르타르(mortar), 바닥 마감재 등 복사난방 패널 각 layer는 열 에너지를 전달하는 역할을 하는 구성요소로 볼 수 있으며, layer의 두께와 재료의 열전도율 또는 열 저항 등 각 layer의 열적 특성을 열에너지의 전달 과정에서의 난방수요 대응 관련 영향인자로 선정하였다.

복사난방 패널의 각 layer를 통해 전달된 열에너지는 최종적으로 복사난방 패널의 표면온도로 구현되며, 최종적으로 이 표면온도의 크기에 따라 대류 및 복사열전달의 형태로 난방공간에 열 에너지를 공급한다. 이러한 열전달의 과정에서, 난방공간을 둘러싸고 있는 건물구조체는 내부공간의 열 에너지를 흡수 및 배열, 복사패널과의 복사열교환 과정을 통해 난방공간의 열적 거동에 영향을 미친다. 따라서 난방공간을 둘러싸고 있는 건물구조체의 열적 특성을 열에너지의 공급 과정에서의 난방수요 대응 관련 영향인자로 판단하였다.

난방수요에 대한 난방설비의 대응 특성에 영향을 미치는 인자들을 열에너지 생산과 열에너지의 전달·공급 측면으로 구분하여 검토한 결과, 열에너지 생산 관련 영향인자로는 설계 공급 온수온도를, 열에너지 전달 관련 영향인자로는 바닥 복사난방 패널의 열 특성을, 열에너지 공급 관련 영향인자로는 건물구조체의 열적 특성을 선정하였으며, 다음과 같이 분석 과정에 반영하였다.

### (1) 설계 공급 온수온도

난방설비 계획의 가장 기본적이고 우선적인 과정은 산정된 설계 난방부하를 처리하기 위한 열원설비의 용량을 결정하는 것으로, 열원설비의 용량은 통상 최대 난방부하의 크기에 안전율을 반영하여 결정한다.

그러나 이렇게 결정된 난방열원의 용량은 대부분 운전 중의 난방부하에 비해서 크기 때문에 열에너지를 과잉 생산하여 공급하는 현상이 발생할 수 있으며, 이로 인한 난방불쾌적 및 불필요한 에너지 소비를 유발한다. 뿐만 아니라 난방열원 용량과 실제 난방부하 크기의 편차가 클수록 열원의 운전효율이 떨어지게 되며 추가적인 에너지 낭비의 요인이 되기도 한다.<sup>72)</sup> 이러한 문제를 해결하기 위해 보일러에서 생산되는 열에너지를 조절하는 방법이 제시<sup>73)</sup>되기도 하는데, 열에너지 생산의 조절에 한계가 있어 적용 효과가 제한적이다<sup>74)</sup>.

뿐만 아니라 개별보일러를 채택하는 개별난방 방식은 일반적으로 난방부하에 비해 비교적 큰 급탕부하를 기준으로 보일러의 용량을 선택하고,

---

72) 이규남, op. cit., p.183.

73) Renato M. Lazzarin, The Importance of the Modulation Ratio in the Boilers Installed in Refurbished Buildings, Energy and Buildings(75), p.43.

74) 리령, 2016, 바닥 복사 난방시스템의 난방용량에 따른 개별보일러의 운전특성 및 난방 에너지 소비량 분석, 서울대학교 대학원 석사학위논문, p.16.

경우에 따라서는 난방부하 대비 3배<sup>75)</sup>에 달하는 용량으로 보일러가 선정되기도 한다. 국내의 경우는 과거의 경험으로부터 난방면적을 기준으로 책정된 보일러의 용량을 적용하기도 하는데<sup>76)</sup>, 보일러 용량 산정 상의 이러한 특징들은 열원용량과 운전 중 난방부하의 차이로부터 기인하는 난방성능 및 에너지 소비 특성에 영향을 미치게 된다.

열원용량은 단위시간당 생산 가능한 열에너지의 총량으로, 순환유량이 결정되어 있는 온수순환 방식 난방설비(hydronic heating system)에서는 열원에서 생산된 열에너지가 난방공간에 공급되는 열매(heat medium)인 온수의 온도로 구현된다. 또한, 온수순환 방식 난방설비에서 방열기(heat emitter)로부터의 방열량(rate of heat output)은 공급수온과 실내 공기온도와의 차이에 대략적으로 비례한다는 열전달 원리<sup>77)</sup>와 평균 공급 온수온도와 실내 작용온도(operative temperature)의 차이에 의한 특성방정식(식 3.2)으로 복사난방 패널의 방열량을 제시하는 기준<sup>78)</sup> 등을 통해 공급 온수온도는 복사난방 패널의 방열량의 영향인자임을 알 수 있다.

$$q = K_H \cdot \Delta\theta \quad (3.2)$$

여기서,  $q$  : 복사난방 패널의 방열량, [W/m<sup>2</sup>]

$K_H$  : 등가 열전달 계수, [-]

$\Delta\theta$  : 열매의 평균온도와 실의 작용온도와의 차, [K]

---

75) L. Peeters, J. Van der Veken, H. Hens, L. Helsens, and W. D'haeseleer, 2008, op. cit., pp.1446-1455.

76) 리령, op. cit., p.15.

77) John Siegenthaler, op. cit., p.347.

78) CEN, op. cit., pp.(Part.5)4-5.



한편, 우리나라 주거건물 난방설비의 경우, 온수를 이용한 바닥 복사난방 시스템이 국내 주거건물에 본격적으로 도입되기 시작했던 1970년대에는 해당 건물의 난방부하를 반영한 바닥 복사난방 시스템의 설계가 이루어졌었다. 그러나 당시로부터 일정기간 동안 주거건물의 형태나 사용되는 건축자재는 다양하지 않았으므로 각 주거건물들은 비슷한 열적 특성을 나타내었고, 따라서 주거건물 난방설비를 계획하는 때 경우에 바닥 복사난방 시스템의 설계 절차를 진행하는 것은 큰 의미가 없는 것처럼 여겨졌다.<sup>79)</sup> 이러한 상황에서, 점차적으로 주거건물의 실제 난방부하와 바닥 복사난방 패널의 방열량(heat output or heating capacity)에 대한 고려 없이, 세대 위치나 세대 내 실(room)의 위치 및 용도에 따라 배관의 배치 간격만을 달리해서 시공하는 것이 관행으로 굳어졌으며, 이러한 관행은 현 시대의 주거건물 바닥 복사난방 설계에도 그대로 이어져오고 있다.

그러나 주거건물의 열적 특성과 난방부하의 변화를 고려할 때, 바닥 복사난방 시스템의 관행적 적용이 난방운전 특성과 난방 및 에너지 성능에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 관행적 설계 적용의 타당성에 대한 재검토가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 난방부하에 대한 고려 없이 관행적으로 적용되는 공급 온수온도 조건(60℃)과 최대 난방부하를 기준으로 산정되는 공급 온수온도 조건을 적용하여 난방설비의 대응 특성을 분석하였다.

공급 온수온도 산정은, 복사와 대류에 의한 열전달을 분리하여 계산하는 것이 방열량 산정의 정확도가 비교적 높다는 연구 결과<sup>80)</sup>와 국내 난

79) 신미수, 2008, 방열량과 바닥표면온도를 고려한 바닥난방 패널 설계에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위논문, p.1.

80) Birol I. Kilkis, Muhammed Eltez, Suat S. Sager, A Simplified Model for the Design of Radiant In-slab Heating Panels, ASHRAE Transactions, p.211.

방설비 계획 시 가정하는 설계 공급-환수온도 차이(10K)와 동일한 공급-환수온도를 기본 가정으로 채택하는 ASHRAE Handbook의 설계방법을 채택하여 적용하였다.

## (2) 바닥 복사난방 패널의 열적 특성

난방수요에 대한 바닥 복사난방 패널의 최종적인 대응이라고 볼 수 있는 방열량은 바닥 표면온도에 의해 결정된다. 또한 바닥 표면온도는 배관의 열전도율과 두께, 배관 관경, 배관 간격, 마감재의 열 저항, screed의 열전도율 및 두께 등 온수로부터 난방공간으로 열이 전달되는 과정에 관계되는 변수에 의해 영향을 받는다. 복사난방 패널의 구조와 각 layer의 역할을 고려할 때, 영향인자들은 바닥 복사난방 패널 내에서의 열원으로 볼 수 있는 온수의 보관(container)과 순환에 관계되는 배관부와 온수로부터의 열을 바닥 표면으로 전달하는 과정에 관계되는 열전달층(heat transfer layer)으로 구분할 수 있다.

열전달 특성과 관련되는 배관 관련인자들로는 배관 관경, 배관의 배치 간격, 배관 벽의 두께, 배관의 열전도율 등을 들 수 있다. 이러한 인자들은 설계 난방부하에 따른 요구 방열량과 바닥 표면온도 쾌적 등을 고려하여 설계 시 결정되지만, 건축적 요구도 만족시켜야 하는 바닥 복사난방 패널의 특성상 관련 산업 환경여건, 시공성, 내구성, 비용 등에 의해 결정되기도 한다. 더욱이 배관 자재가 다양하지 않은 등의 이유로 인해, 배관은 난방설비 설계자가 제시하는 다양한 요구조건을 만족시키도록 자체의 열적 특성을 변경하여 적용하는 것에 제한이 있다. 즉, 생산되고 있는 주요 제품들 중에 요구되는 조건과 근접한 배관을 선택하여 적용하게

되고, 선택된 배관의 특성에 의해 결정되는 두께, 열전도율 등이 그대로 반영될 수밖에 없다.

한편, 배관 관경과 배치 간격은 설계 과정에서 설계자가 결정할 수 있는 설계변수이지만, 요구 방열량 뿐 아니라 바닥 표면온도의 쾌적 조건 등을 고려하여 제한된 범위 내에서 가장 적합하다고 판단되는 값이 선택되는 설계절차의 특성 상, 우선적으로 고려되는 조건들과 별개로 난방수요 변화에 대한 대응만을 고려하여 요구사항을 검토하는 것은 실제적 가용 대안 도출 측면에서는 우선순위가 낮다고 판단된다.

특히, EN 1264에서 제시하고 있는 바닥 복사난방 패널의 방열량 산정식으로부터 설계인자들이 패널의 방열량에 미치는 영향을 분석한 신미수의 연구<sup>81)</sup>에서는, EN 1264에서 제시하는 설계인자 값의 범위와 실제 생산되고 있는 제품의 설계인자 값의 범위에서 각 설계인자들의 방열량에 대한 영향정도를 비교·평가한 결과, 배관 관경 및 벽두께, 배관의 열전도율이 바닥 복사난방 패널의 방열량에 미치는 영향정도가 비교적 미미한 수준이라고 보고하고 있다.

동일한 연구<sup>82)</sup>에서 배관의 배치 간격은 바닥 복사난방 패널의 설계 방열량에 미치는 영향도가 비교적 큰 것으로 보고되고 있으나, 이는 설계 방열량에 미치는 영향일 뿐 아니라 바닥 표면온도 쾌적에도 영향을 미치는 인자로 설계과정에서 이미 결정되어 적용되기 때문에, 운전 중 난방수요 변화에 대한 대응인자가 아닌 경계조건으로 반영하였다. 더욱이 ASHRAE Handbook에 제시된 설계방법에서는 배관 간격이 결정되어 있을 때는 배관 간격으로부터 평균 공급 온수온도를 계산하고, 반대로

---

81) 신미수, 2008, 방열량과 바닥표면온도를 고려한 바닥난방 패널 설계에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위논문, pp.36-42.

82) Ibid.

평균 공급 온수온도가 결정되어 있을 때는 이로부터 배관 간격을 계산하도록 되어 있는데, 이는 배관 간격과 공급 온수온도 조건은 방열량 뿐 아니라 바닥 표면온도의 쾌적 조건과도 연관되는 상호 보완적인 설계변수이기 때문이며, 하나의 인자 값이 결정되면 이에 따라 다른 하나의 설계 값이 적정한 범위에서 선정된다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 배관 간격으로부터 고려될 수 있는 바닥 표면온도의 수평 편차보다는 난방수요에 대한 대응으로써의 방열능력에 집중하기 위해 배관 간격을 대신하여 공급 온수온도를 영향인자로 선정하였다. 평가·분석을 위해 설계 난방부하를 근거로 설계과정을 거쳐 설계변수 값을 도출하였으며, 현재 통상적으로 활용되는 배관 자재의 열 물성치를 적용하였다. 특히 배관의 배치 간격은 방열량 뿐 아니라 바닥 표면온도의 쾌적을 고려하여 신미수의 연구 결과로 제시된 설계도표<sup>83)</sup>를 활용하여 결정하였다. 그러나 난방부하의 감소 경향에 대한 배관 관련 인자들의 영향을 분석하는 경우에는 관행적 적용에 의한 설계변수 값도 함께 적용하여 비교·분석하였다.

복사난방 패널의 구조와 형태, 적용 방법, 각 layer에 사용되는 자재 등은 건물구조체로서의 건축적 요구와 난방설비로서의 열적 요구를 만족하는 범위 내에서 다양하게 적용될 수 있으며, 각 자재의 열 저항 또는 열전도율, 열용량 등 열 물성치도 다양할 수 있다. 이러한 다양성은 복사난방 패널에서의 열전달 과정에서 많은 차이를 보일 수 있으나, 바닥 복사난방 패널과 자재의 다양화 뿐 아니라 주거건물 말단설비의 변화 가능성을 고려할 때, 관련된 모든 경우(case)와 인자들에 대한 검토는 난방설비 대안 도출에 적용 가능한 일반적이고 유용한 결과 도출에는 제한적일 수

---

83) Ibid., pp.62-65.

있다. 한편, 건축구조나 바닥 충격음 규정<sup>84)</sup> 등 난방설비로써의 요구 뿐 아니라 바닥구조체로써의 건축적 요구도 만족시켜야 하는 바닥 복사난방 패널의 특성을 고려할 때 더욱 그러하다. 따라서 적용 가능한 복사패널의 다양성을 제한하지 않으면서도 일반적이고 유용한 난방설비 대안 및 대응방안을 도출하기 위해서는 열의 전달과정 측면에서 복사난방 패널의 구조와 형태, 사용되는 자재의 영향이 종합적으로 반영되는 영향인자의 선정이 필요하다.

바닥 복사난방 패널의 설계인자 중 열 저항 또는 열전도율이 최종적인 방열량에 비교적 큰 영향을 미친다는 연구결과<sup>85)</sup>가 있으나, 이 연구결과는 정상상태 조건에서의 방열량에 대한 평가 결과로, 열매에 의해 패널 구조체를 가열하고 가열된 구조체에 의해 난방공간으로 열이 전달되는 복사난방 패널의 열전달 메커니즘(mechanism)이 반영된 것은 아니다. 따라서 ‘단위시간당 요구열량’을 공급하는 난방설비의 대응과 복사난방 패널의 열적 특성 측면에서 볼 때, 설계과정에서의 요구 방열량 산정에는 포함되어 있지 않지만 실제 비정상상태 운전을 고려하여, 열 저항 또는 열전도율과 함께 열용량이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

복사난방 패널의 각 layer를 구성하는 자재들은 다양한 열 저항과 열용량을 가질 수 있으며, 이 두 영향인자의 조합도 매우 다양하게 나타날 수 있다. 반면, 패널에 적용 가능한 자재들이 다양하지 않을 뿐 아니라, 선택 가능한 자재들이 다양할지라도 열 저항 값을 결정하고 열용량을 변경하거나, 열용량 값을 결정하고 열 저항 값을 변경하는 것은 재료의 특성상 제한적이므로, 비정상상태의 열적 특성이 중요한 난방설비의 대응 측면에서는 이 두 인자를 통합해서 고려하는 것이 일반적인 특성을 도출하는 면에서 더욱 유용할 수 있다. 한편, 이 두 인자가 종합된 지표 중

84) 국토교통부, 2016, (건설교통부 고시)공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준.

85) Ibid.

하나로 열시정수(thermal time constant)<sup>86)</sup>가 활용되기도 한다.

$$\tau = R C \quad (3.3)$$

여기서,  $\tau$  : 열시정수 [s]

$R$  : 열 저항 (thermal resistance) [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]

$C$  : 열용량 (thermal capacitance) [ $\text{J/m}^2\text{K}$ ]

현재 바닥 복사난방 패널의 구성과 형태는 건축적 요구로 인해 대부분의 유사하게 적용되고 있다. 그러나 최근에는 거의 동일한 형태로 적용되던 습식 바닥 복사난방 패널의 반응속도 개선 등의 목적으로 경량화된 건식 바닥 복사난방 패널의 적용 시도가 증가하고 있다. 바닥 복사난방 패널의 다양한 구성과 자재 선택이 가능하므로 분석에 적용하는 영향 인자 값의 범위는 다양하게 선정할 수 있으나, 구현 가능성을 고려할 때 각 변수 값의 합리적인 범위 선정이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 현재 비교적 일반적으로 활용 가능성이 높은 바닥 복사난방 패널 구조를 활용(열시정수 차이)하여 바닥 복사난방 패널의 난방성능 및 에너지 소비 특성에 미치는 영향을 분석하였으며, 그 대상으로 기존의 습식 바닥 복사난방 패널과 건식 복사패널을 선택하여 평가에 반영하였다.

### (3) 건물구조체의 열적 특성

난방공간을 둘러싸고 있는 건물구조체는 내부공간의 열에너지를 흡수 및 배열하는 과정을 통해 난방공간의 열적 거동에 영향을 미치며, 내부

---

86) Jan F. Kreider, Peter S. Curtiss, Ari Rabl, op. cit., p.389.

공간의 열에너지 흡수 및 배열과 관련되는 중요한 물리적 변수는 건물구조체의 열용량이다. 일반적으로 적용 가능한 건물구조체의 형태를 고려할 때, 건물구조체의 열적 특성(열용량) 차이를 가장 잘 드러내는 요인으로 단열방식을 들 수 있다. 따라서 내단열과 외단열을 적용함으로써 건물구조체에 의한 영향정도를 파악하였다.

본 절(3.1절)에서는 난방수요 변화에 영향을 미치는 인자와 난방수요에 대한 난방설비의 대응 관련 영향인자를 도출하고 평가에 반영하는 방안을 검토하였다. 그 결과, 연구수행 과정에서 난방수요 변화에 따른 난방 및 에너지 소비 특성 분석을 위한 난방수요 및 난방설비 대응 관련 영향인자(조작변수)의 종류와 반영 방법을 종합하면 그림 3.2와 같다.

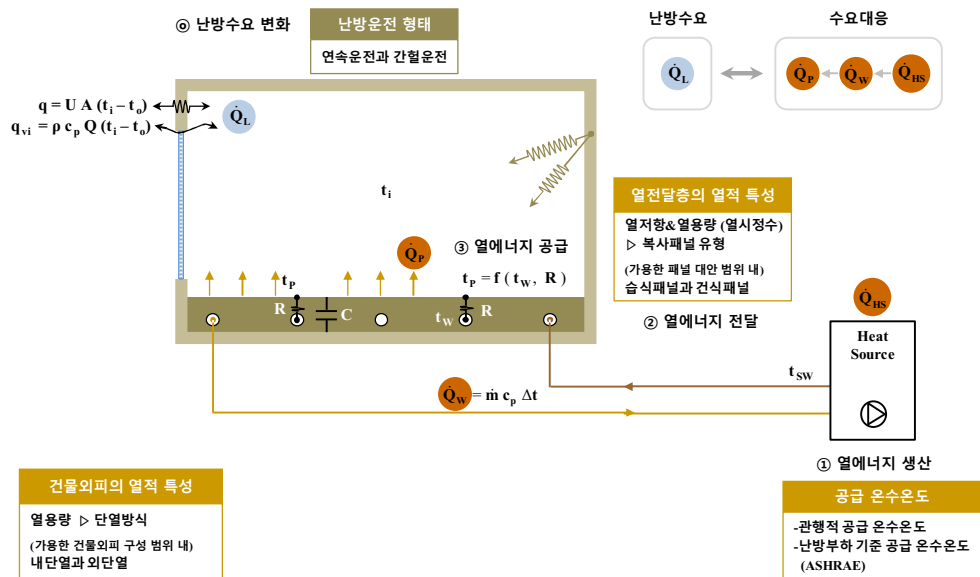


그림 3.2 난방수요 및 난방설비의 대응 관련 영향인자와 반영 방법

## 3.2 평가항목

본 절에서는 3.1절에서 도출한 난방수요 및 수요대응 영향인자에 따른 난방성능 및 에너지 소비 특성 분석과 Hydronic Thermal Energy System의 적용 타당성 검증에 적용되는 평가항목과 기준을 선정·분석하였다.

### 3.2.1 난방성능 및 쾌적

#### (1) 실내온도 분포

난방설비의 기본 목적은 난방공간을 설정된 실내 온도조건으로 유지하는 것이므로, 난방설비의 기본 목적 달성 여부는 공간 내의 온도분포 특성을 통해 판단할 수 있다. ‘단위시간당 요구열량’의 개념으로 정의된 ‘난방수요’ 변화에 대해 정확하게 요구열량이 공급되고 있는 이상적인 상태는 공간 내에서의 열평형이 이루어지는 상태로, 실내온도는 설정온도와 정확하게 일치할 것이며, 실내 공간을 거주자가 요구하는 상태로 유지하기 위한 난방수요에 난방설비가 적절하게 대응하고 있다고 볼 수 있다.

그러나 단위시간당 요구열량에 비해 단위시간당 공급열량(rate of heat output)이 클 경우 실내온도는 설정온도를 초과하게 될 것이며, 과잉 열량 공급으로 인한 난방불쾌적을 유발할 것이다. 반면, 단위시간당 요구열량에 비해 단위시간당 공급열량이 작을 경우 실내온도는 설정실온에 미치지 못할 것이며, 이 또한 재실자에게 난방불쾌적을 유발할 것이다.

따라서 난방설비의 기본 목적으로부터, 실내온도 분포를 성능평가의



근거항목으로 고려할 수 있으며, 구체적으로 설정온도 범위 유지와 설정온도를 중심으로 하는 실내온도의 변동 폭에 대한 분석을 통해 난방설비의 난방수요에 대한 대응성능을 판단할 수 있다. 본 연구에서는 난방운전 시 실내 설정온도를 20℃로, 제어편차는  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였다.

한편, 복사와 대류에 의한 열전달을 모두 이용함으로써 대류 난방방식에 비해 전반적인 쾌적(total human comfort)을 수월하게 달성하는 장점을 지니는 복사난방 방식의 특성 상, 실내 건구온도의 분포와 함께 평균 복사온도의 영향이 반영된 작용온도(operative temperature) 분포도 분석하였다.

## (2) 바닥 표면온도 분포

본 연구의 대상 말단설비는 바닥 복사난방 패널로, 국내의 좌식생활 문화를 고려할 때, 신체가 바닥 표면에 직접 접촉함으로써 느끼는 바닥 표면온도의 쾌적 또한 중요한 난방성능 중 하나이다.<sup>87)</sup>

다양한 문헌에서 난방운전 중 바닥 표면온도의 쾌적 상한을 제시하고 있는데, EN 1264 및 ASHRAE Handbook에 제시된 바닥 복사난방 패널 설계방법에서는 거주자의 쾌적뿐 아니라 화상 및 재료의 변형 방지를 위한 거주구역(occupied area)의 최고 바닥 표면온도를 29℃로 제시하고 있다. 그러나 오랜 좌식생활로 인해 바닥 표면에 신체를 접촉시킴으로써 따뜻한 감각을 즐기는 독특한 온열 감각이 있는 우리나라는 입식생활을 하는 다른 나라에 비해 더 높은 표면온도 범위(30~35℃)에서 쾌적하게 느끼는 것으로 보고<sup>88)89)90)</sup>되고 있다. 한편, 바닥 재료에 따른 바닥 표면

---

87) 이도현, 전명훈, 최진만, 2002, 공동주택의 건식온돌시스템 성능 기준(안) 작성 연구, 대한주택공사 주택도시연구원, p.65.

88) Ibid.

89) 송국섭, 전봉구, 이현우, 2000, 콘크리트 바닥과 나무 바닥의 좌식 생활 자세별 온열

온도 쾌적 범위에 대한 송국섭의 연구<sup>91)92)</sup>는 바닥 재료별 쾌적 표면온도 상한을 23~32℃로 제시하고 있다. 또한 실내온도 20℃, 상대습도 50%로 유지되는 공간에서 바닥 표면온도 변화에 따른 피부(발) 온도와 혈류량을 측정한 연구<sup>93)</sup>는 혈류량과 쾌적을 고려하여 27~33℃의 바닥 표면온도를 권장하고 있으며, 실험쥐를 이용한 연구<sup>94)</sup>는 심부온도 변화를 근거로 대사가 적은 경우 바닥 표면온도가 35℃까지 가능하다고 보고하고 있다.

대부분 연구들은 난방 시 바닥 표면온도의 쾌적 상한에 대한 연구로, 과거의 난방부하 크기를 고려할 때 실내 난방부하 처리 과정에서 바닥 표면온도가 지나치게 상승하는 것에 대한 우려에서 연구가 진행된 것으로 판단된다. 이상의 결과들을 종합할 때, 우리나라와 같이 좌식생활 문화가 정착된 경우 바닥 표면온도의 쾌적 상한은 35℃까지 허용 가능할 것으로 판단된다.

그러나 주거건물 난방부하의 감소 추세를 감안할 때, 난방부하 처리 과정에서 바닥 복사난방 패널의 표면온도가 과거 주거건물에서보다 크게 상승하지 않을 것으로 예상된다. 이 경우, 좌식생활에 의한 독특한 온열 감각을 지니고 있는 우리나라 거주자의 경우 낮은 바닥 표면온도로 인해 불쾌적을 느낄 수도 있으므로, 난방운전 중 바닥 표면온도의 쾌적 하한

---

감 비교 연구, 대한건축학회 논문집, 16(2), pp.105-114.

90) 윤정숙, 민경애, 최윤정, 1994, 온돌 난방공간에 있어서 온수 공급조건에 따른 거주자의 주관적 반응과 온열 쾌적범위, 대한건축학회 논문집, 10(10), 167-174.

91) 송국섭, 전봉구, 이현우, *op. cit.*

92) 송국섭, 전봉구, 김기훈, 전성원, 2001, 坐食 生活 姿勢에서 황토, 소나무, 우레탄 고무, 철관 바닥재료의 熱特性에 따른 溫熱感 比較 研究, 대한건축학회 논문집(계획계), 17(2), 207-216.

93) G. S. Song, 2008, Effect of floor surface temperature on blood flow and skin temperature in the foot, *Indoor Air*, 18(6), pp.511-520.

94) 송국섭, 안가연, 이정범, 2011, 바닥의 온도가 심부온도, 피부온도, 혈류량에 미치는 영향, 한국생활환경학회지, 18(1), 67-74.

에 대한 고려와 분석도 필요한 시점이라고 판단된다.

바닥 표면온도 쾌적 하한에 대한 연구는 그 사례가 많지 않으며, 공인된 기준으로 제시되는 사례도 찾아보기 어렵다. 일본 연구문헌 고찰을 통해 바닥 복사난방 시 쾌적 및 허용 바닥 표면온도를 분석한 연구<sup>95)</sup>는 관련 문헌들을 종합한 결과로, 실내 공기온도에 따라 약간의 차이가 있으나 젊은 층은 20~35℃, 장년층은 24~30℃의 허용 바닥 표면온도를 제시하고 있다고 결론짓고 있다. 또한 이 연구는 쾌적을 위한 최저 바닥 표면온도를 25℃, 최고 바닥 표면온도를 31℃로 제안하고 있으며, 결과적으로 26~30℃를 최적 바닥 표면온도로 제안하고 있다.

또한, 바닥 복사난방 운전 시 바닥 표면온도 쾌적에 대한 문헌들과 guidance를 종합하여, 표 3.1과 같은 바닥 표면온도 권장 값을 제시한 문헌<sup>96)</sup>도 있다.

표 3.1 바닥 복사난방 운전 시 권장 바닥 표면온도

Room or Area	Minimum Temperature	Maximum Temperature
Rooms where occupants will be standing for long periods	24	25
Rooms where occupants will normally be seated but active	26	27
Rooms where occupants will normally be seated but inactive	28	29
Rooms where people will normally be passing through	29	30

95) L. Zhang, K. Emura, and Y. Nakane, 1998, A Proposal of Optimal Floor Surface Temperature Based on Survey of Literatures Related to Floor Heating Environment in Japan, Applied Human Science, 17(2), pp.61-66.

96) David E. Watkins, 2011, Heating Services in Buildings: Design, Installation, Commissioning & Maintenance, Wiley-Blackwell, p.141.

말단설비인 바닥 복사난방 패널에 신체가 직접 접촉한다는 것과 우리나라의 좌식생활 문화를 고려할 때, 난방성능 및 쾌적 평가를 위해 바닥 표면온도에 대한 검토가 필요하므로, 바닥 표면온도의 변동 폭과 바닥 표면온도의 쾌적 상한 및 하한에 대한 비교·평가를 수행하였다.

### 3.2.2 난방에너지 소비 특성

난방에너지는 난방과정에서 사용된 에너지 소비량으로 평가 가능하며, 바닥 복사난방과 같은 온수순환 방식 난방설비에서의 에너지 소비는 열매 생산을 위해 열원에 투입되는 에너지와 열매인 온수를 순환시키는데 투입되는 에너지로 구성된다.

#### (1) 가스소비량(또는 공급열량)

개별세대 차원에서 열매 생산을 위해 열원에 투입되는 난방에너지는 난방열원의 공급 방식에 따라 구분할 수 있다.

개별난방 방식의 경우, 대부분의 국내 공동주택에는 가스를 연료로 사용하는 순간 가열방식의 가스보일러를 세대 별로 설치하여 사용하므로, 온수 생산을 위해 투입된 에너지는 가스보일러에 공급된 총 가스소비량으로 판단할 수 있다.

중앙난방 방식의 경우, 다수의 세대가 열원을 공유하므로 단순히 열원 설비에 투입된 1차 에너지(primary energy)의 양으로 개별세대 차원의 난방에너지 소비를 평가하는 것은 무리가 있다. 따라서 중앙난방 방식에서, 개별세대 차원의 난방에너지 소비는 세대에 공급된 열량을 기준으로 평가하는 것이 합리적이라고 판단된다.

본 연구에서는 순간 가열방식의 개별 가스보일러를 적용한 개별난방방식을 대상으로, 개별 가스보일러의 가스소비량을 난방에너지 소비 평가항목으로 선정하였다.

## (2) 순환펌프 전력소비량

바닥 복사난방 시스템과 같은 온수순환 방식 난방설비는 열매 순환을 위한 순환펌프가 채택되고, 이 순환펌프를 가동하는데 소요되는 전력량이 난방에너지에 포함되어 평가되어야 한다. 본 연구에서는 난방설비 설계에 의해 산정된 유량을 고려하여 순환펌프를 선정하여 적용하였고, 난방운전을 통해 소비되는 총 소비전력을 분석하였다.

## (3) 난방설비 운전 특성

개별 가스보일러를 주로 적용하는 개별 난방방식의 경우, 일반적으로 난방부하에 비해 큰 급탕부하를 기준으로 보일러의 용량이 산정되고 적용된다. 따라서 대부분의 난방운전은 부분부하 상태에서 진행되며, 부분부하 상태에서의 운전은 일반적으로 보일러의 효율을 감소시키는 경향<sup>97)</sup>이 있다. 뿐만 아니라 보일러의 과잉 용량 선정으로 인해 필요한 난방요구보다 많은 단위시간당 열량을 생산 및 전달하는 과정에서 보일러의 짧은 가동-정지(short cycling)가 빈번하게 발생<sup>98)99)</sup>할 수 있다.

보일러 내의 버너(burner)가 점화되는 과정에서의 연료 소비량이 연소

---

97) CIBSE, 2004, CIBSE Guide F: Energy efficiency in buildings, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London, pp.10-2~10-4.

98) Rayment R., 1995, Boiler efficiency and gas consumption: Effects of cycling and pump speed, Building Service Engineering Research and Technology, 16(1), pp.55-58.

99) U.S. Department of Energy, 2012, Minimize Boiler Short Cycling Losses.

중인 과정에서보다 증가하는 특성이 있으므로, 동일 시간동안에 버너의 가동-정지가 빈번해질수록 연료 소비량이 증가한다.<sup>100)</sup>

보일러의 짧은 가동-정지현상의 빈번한 발생은 열원설비에서의 에너지 사용을 증가시킬 뿐 아니라 유해가스의 방출을 증가시키고<sup>101)</sup>, 열원 설비에 포함된 설비요소(component)들의 수명을 단축시키기도 한다. 이러한 문제를 방지하기 위해 보일러의 안정적인 운전을 위한 보일러의 시간당 가동-정지 횟수를 6회 이내로 유지할 것을 권장<sup>102)</sup>하기도 한다.

본 연구에서는 보일러의 시간당 가동-정지 횟수와 전체 가동시간도 함께 비교·평가하였다.

이상의 성능평가 항목을 정리하면 표 3.2와 같다.

표 3.2 Hydronic Thermal Energy System의 성능평가 항목

평가영역	평가항목	
난방성능 및 쾌적	실내온도 분포	설정온도 범위( $20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ) 유지 실온 변동 폭
	바닥 표면온도 분포	바닥 표면온도 상한 및 하한 바닥 표면온도 변동 폭
난방에너지 소비 특성	가스소비량	
	순환펌프 전력소비량	
	난방설비 운전 특성	가동-정지 빈도 및 가동시간

100) X. Damianos, A. Day, and M. Ratcliffe, 2007, The development of a dynamic model to simulate boiler controls, Building Service and Engineering Research and Technology, 28(2), pp.105-116.

101) Andreas Heinz, 2007, PCM storage to reduce cycling rates for boiler, Graz University of Technology, pp.4-5.

102) Cemline Corporation, 2010, System Efficiency Buffer Tank Cemline Primary/Secondary Buffer Tank, Air Separator, p.1.

### 3.3 평가조건 및 대상

설계 난방부하 감소와 운전 중 난방수요 변화에 따른 난방설비의 운전 특성, 난방성능 및 에너지 소비 특성 분석을 위해서는 동적 부하 및 에너지 시뮬레이션이 가능한 정밀 해석 프로그램의 사용이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 건물과 건축설비의 모사가 가능하며, 평가항목에 대한 해석 결과를 도출할 수 있는 검증된 동적 열-에너지 해석 프로그램인 EnergyPlus(ver. 8.6)를 활용하였다.

본 절에서는 난방수요 변화에 따른 난방성능 및 에너지 소비 특성 분석과 Hydronic Thermal Energy System의 성능평가를 위한 경계조건(boundary condition)과 범위, 대상을 설정하였다. 평가목적에 따라 차등적으로 적용되는 조건은 해당 평가 결과를 분석하는 절에 소개하였으며, 공통적인 조건은 본 절에 서술된 내용을 적용하였다.

#### 3.3.1 대상세대

난방수요 대응을 위한 난방설비 요구조건 분석 및 대응성능 평가를 위해 분석 대상세대와 평가조건을 수립하였다. 분석 대상세대는 주거건물을 대표할 수 있을 뿐 아니라, 난방수요 및 난방설비의 대응과 관련된 경계조건과 영향인자가 반영되도록 선정되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 비교적 정형화 된 구조와 형태, 기준이 적용되어 표준적인 열적 특성을 나타낸다고 볼 수 있을 뿐 아니라, 국내 주거 건물 유형 중 큰 비중을 차지하는 공동주택을 분석대상 주거건물 유형으로 선정하였다. 또한 난방부하의 감소와 변화에 영향을 미치는 인자들

중 난방성능 개선을 위해 임의로 조절할 수 없는 인자들은 평가를 위한 경계조건으로 설정하였으며, 난방성능에 영향을 미치는 동시에 조절 가능한 인자들은 영향인자로 고려하였다.

설계 난방부하의 감소와 운전 중 난방요구 변화는 난방부하에 관계된 변수에 의해 결정되며, 이 변수에는 건물외피의 열관류율과 외피 면적, 도입외기의 양, 외기온도가 포함된다. 주거건물에서 외피의 열관류율과 외피 면적, 도입외기의 양은 설계 난방부하의 크기에 영향을 미치며, 외기온도는 난방운전 중 난방부하의 변화에도 관련된다. 그러나 이러한 인자들은 주거건물이 계획되어 시공되면 건물의 건축적 특성과 지역기후에 의해 결정되는 인자들이므로, 분석을 위한 경계조건으로 활용 가능하다.

주거건물 에너지 소비 저감을 위해 국내 공동주택 열관류율 규정은 지속적으로 강화되어 왔으며, 각 시기별로 주거건물들은 이를 만족하는 형태로 계획되었다. 또한 에너지절약형 주거건물은 에너지 절감 달성을 위한 난방부하 목표를 제시하며, 구체적 열관류율 값이 제시되기도 한다. 따라서 난방부하의 감소에 따른 난방설비 대응 특성을 분석하기 위해, 현행 열관류율 기준을 충족하는 주거건물과 에너지절약형 주거건물 요구조건을 충족하는 주거건물을 분석 대상으로 선정하였다.

본 연구에서는 현행 열관류율 기준을 충족하는 주거건물로써, 2015년 허가를 득한 공동주택 중 평면형태 등 대표성을 고려하여 국내 주요 건설사에서 시공한 판상형 공동주택을 분석 대상세대로 선정하였다.

한편 난방부하 감소에 따른 난방설비 대응 특성 분석을 위한 에너지절약형 주거건물은 시공사례 표본에 한계가 있으므로, 대표성을 고려한 대상세대 선정에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 난방부하 감소와



운전 중 난방수요 변화에 따른 난방설비의 열적 거동 분석 목적과 건물 구조체의 열적 특성에 의한 난방부하 변화와 관련된 인자 이외의 요소에 의한 영향 배제를 고려하여, 주거건물의 형태나 구성은 분석대상으로 선정된 현행 공동주택을 공통적으로 적용하고, 에너지절약형 주거건물의 부하특성에 대한 정보만을 적용하여 분석 대상세대를 설정하였다. 에너지절약형 주거건물의 부하특성 관련 열 물성 정보는 S공사에서 서울지역에 건축을 추진하고 있는 500세대 규모의 Zero Energy 공동주택 계획의 내용을 적용하였으며, 이 계획에 의한 설계 난방부하는  $20\text{W}/\text{m}^2$ 이다.

분석대상 주거건물 규모는 연도별 인허가 비율(그림 3.3)<sup>103)</sup>이 가장 큰 규모( $60\sim 85\text{m}^2$ )를 고려하여, 전용면적  $84\text{m}^2$ 의 공동주택으로 선정하였다.

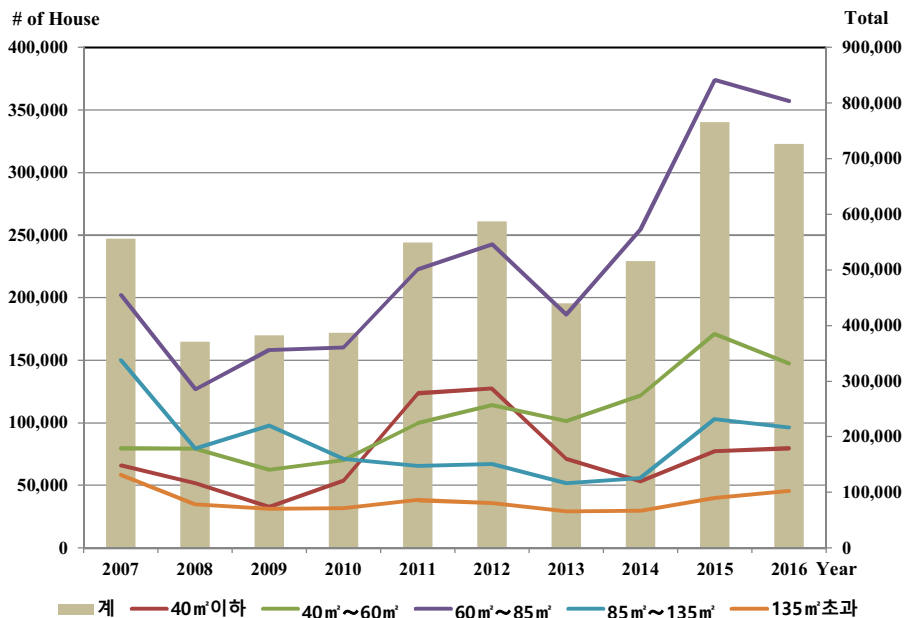


그림 3.3 주택규모별 주택건설 인허가 실적

103) KOSIS 국가통계포털. (<http://kosis.kr>)

또한 세대 내 실(room) 개수는 통계자료(그림 3.4)<sup>104)</sup>와 선택한 규모의 공동주택 건축도면 상 공간구성이 유사하였으므로, 수집한 실제 시공 건축도면(L 공사, H 건설사)의 정보를 그대로 활용하였다. 최종적으로 선정된 분석 대상세대의 평면구성은 그림 3.5와 같다.

한편, 본 연구의 목적과 분석조건을 고려하여, 현행 주거건물과 에너지절약형 주거건물에 동일한 평면(그림 3.5)을 적용하였다. 또한 현행(기존) 주거건물의 벽체구성과 단열성능은 해당 설계도서에 제시된 자료(표 3.3)를 반영하였으며, 에너지절약형 주거건물의 경우 표준적인 건물구조체 구성자료 활용 상 제약이 있어, 현행 주거건물의 벽체구성과 단열성능 자료 중 단열성능 만을 반영하여 분석하였다.

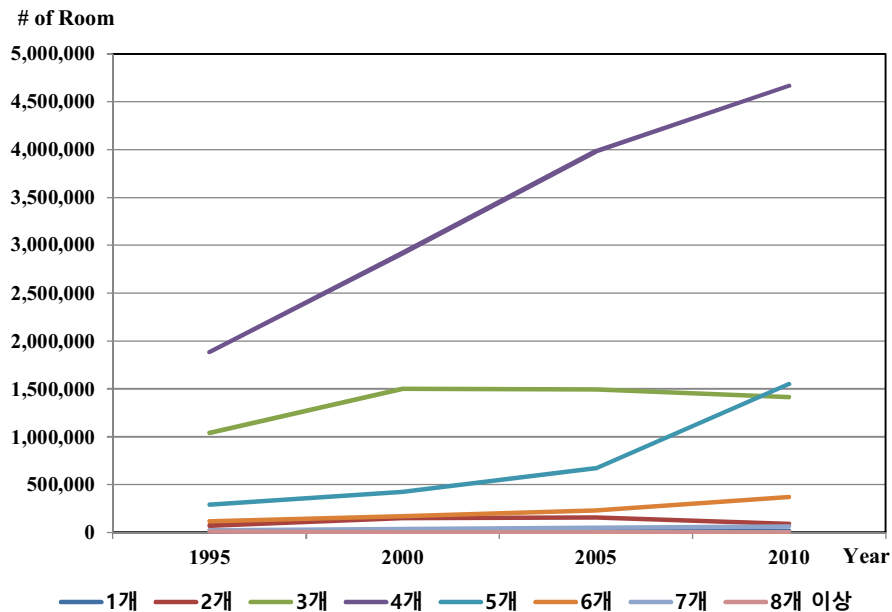


그림 3.4 아파트 내 총 방수(총조사 주택총괄)

104) Ibid.

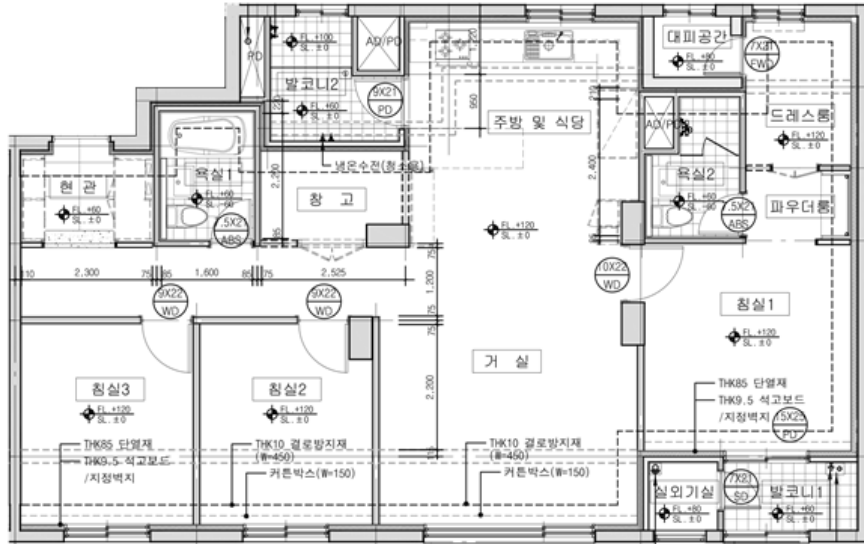


그림 3.5 분석대상 공동주택의 평면 구성

표 3.3 현행 주거건물의 외피구성 및 물성 (2015년 인허가 공동주택)

구 분		자재 구성	두께 mm	열전도율 W/mK	밀도 kg/m <sup>3</sup>	비열 J/kgK
벽	외벽	석고보드	10	0.180	800	1,090
		경질 우레탄폼 보온판	85	0.019	24	1,590
		콘크리트	200	1.600	1,920	900
	내벽	석고보드	20 / -	0.180	800	1,090
		콘크리트	50 / 200	1.600	1,920	900
		경질 우레탄폼 보온판	60 / -	0.160	24	1,590
		석고보드	20 / -	0.180	800	1,090
바닥		강화마루	8	0.115	900	1,340
		시멘트 몰탈	50	1.400	1,900	1,000
		경량기포 콘크리트	40	0.160	1,920	900
		층간소음 단열재	30	0.031	240	1,260
		콘크리트	210	1.600	1,920	900
창호		Clear Glass	6	0.9	-	-
		Air	12.7	-	-	-
		Clear Glass	6	0.9	-	-
		Clear Glass	6	0.9	-	-
		Air	12.7	-	-	-
		Clear Glass	6	0.9	-	-

한편, 난방부하에 영향을 미치는 인자 중 도입외기의 양은 침기(infiltration)와 환기(ventilation)로 구분하여 고려될 수 있다. 침기에 의한 도입외기의 양은 건물외피의 기밀도, 실내외 압력 차이에 의해 결정<sup>105)</sup>된다. 그러나 건물에너지 소비 저감의 노력으로 건물의 기밀성능이 지속적으로 개선되고 있으며, 특히 에너지절약형 주거건물은 더욱 기밀할 것이 요구되므로, 도입외기의 양 중 침기에 의한 비중은 미미할 것으로 판단된다.

환기에 의한 도입외기의 양은 자연환기 또는 기계환기를 통해 결정되는데, 건물에너지 소비 저감을 위해서는 가능한 한 환기에 의한 도입외기의 양을 줄이는 것이 필요하다. 그러나 적절한 실내공기질(Indoor Air Quality) 확보를 위해 최소 환기량이 요구되며, 우리나라의 경우 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」에서 신축 또는 리모델링하는 주택 또는 건축물에 대해 시간당 0.5회(2013년 이후) 이상의 환기가 이루어질 수 있도록 하는 자연환기설비 또는 기계환기설비를 설치하도록 규정<sup>106)</sup>하고 있다.

표 3.4 국내 주택의 최소 환기요구량 변화

제정 시기	2006년 <sup>107)</sup>	2013년 <sup>108)</sup>
요구 환기량	0.7ACH 이상	0.5ACH 이상

본 연구에서는 평가를 위한 경계조건(boundary condition)으로 시간당 환기량을 주거건물에서 일정하게 유지하는 것으로 가정하여 평가하였다. 공동주택 난방부하 및 에너지에 대한 2000년 전후 연구문헌에서 당시의 설계 및 부하해석에 1~2ACH(1996년)<sup>109)</sup>와 일반적인 설계기준 1.5ACH

105) Jan F. Kreider, Peter S. Curtiss, Ari Rabl, 2010, Heating and Cooling of Buildings: Design for Efficiency(Revised 2<sup>nd</sup> Edition), CRC Press, pp.275-277.

106) 국토교통부, 2013, 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙.

107) 국토교통부, 2006, 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙.

108) 국토교통부, 2013, op. cit.

및 해석 적용 값 1.0ACH(2005년)<sup>110)</sup>등의 환기량이 사용되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 현행 주거건물의 대상세대로 2015년에 허가를 득한 공동주택을 선정하였으므로, 현행 주거건물의 환기량으로 최소 환기량 관련 규정을 고려하여 0.5ACH를 적용하였다. 또한 에너지절약형 주거건물의 경우, 통일된 기준이 없을 뿐 아니라 표본 사례도 부족한 관계로 최근의 규정을 고려하여 현행 주거건물과 동일하게 0.5ACH를 적용하였다.

주거건물 내의 열적 거동에 영향을 미치는 인자로서 내부발열에 대한 고려가 필요하다. 그러나 내부발열은 발열량이나 발열 schedule의 대표성 확보가 어려울 뿐 아니라 난방부하의 변화를 모사하는 것이 본 연구에서의 주된 관심임을 고려하여, 재실인원은 총 3명으로 각 침실별 1명을 가정하였고, 직장 및 학업을 고려하여 낮 시간동안에는 재실 인원이 없는 것으로 가정하였다. 이에 따라 조명은 재실기간 내의 야간에만 사용되는 것으로 적용하였다. 내부발열 관련 정보는 표 3.5에 제시하였다.

실내온도는 난방설비가 달성해야 할 실내 환경 조건으로, 난방부하 계산 뿐 아니라 난방설비의 성능을 판단하는 지표이다. 실내온도는 개인적 특성에 따라 다르게 유지될 수 있으나, 다양한 문헌에서 난방부하 계산과 난방설비 설계 및 운전을 위해 적용되는 쾌적을 고려한 실내 설정온도로 20℃를 제시하고 있으며, 「건축물의 에너지절약설계기준」<sup>111)</sup>을 참고하여 20℃를 적용하였다. 난방수요의 크기나 변화의 1차적 원인이 되는 외기온도는 서울지역의 기상데이터<sup>112)</sup>를 적용하여 평가하였다.

---

109) 박석봉, op. cit.

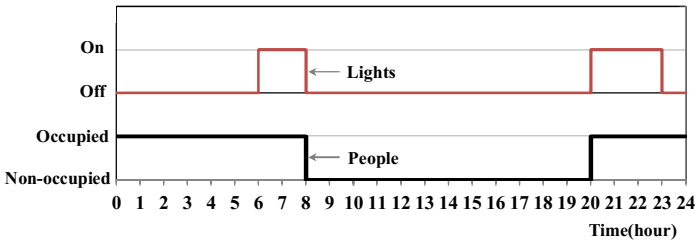
110) 박유원, 유호선, 홍희기, 2005, 한국형 아파트의 난방에너지 분석 3 : 실내설정조건  
의 영향, 설비공학논문집, 17(8), 대한설비공학회. pp.722-728.

111) 국토해양부, 2016, (국토교통부 고시) 건축물의 에너지절약설계기준.

112) 한국태양에너지학회, 대한민국 표준년 기상데이터(서울 2010-Seoul-R-05).

평가에 적용된 대상세대의 경계조건을 종합하면 표 3.5와 같다.

표 3.5 분석 대상세대 구성 및 경계조건

구 분		상 세 내 용
부하 특성	현행 공동주택 (2015년 인허가)	에너지절약형 공동주택
세대 위치	중간층 중간세대	
향	남향 (남측과 북측은 외기에 면함)	
면적 / 층고	전용면적 84m <sup>2</sup> / 층고 2.8m	
외기조건	서울지역 표준 기상데이터	
환기(침기)량	0.5ACH	
내부 발열	인체 <sup>113)</sup>	Sensible Heat 70W/person (convection 0.4, radiation 0.6) Latent Heat 45W/person Activity : seated, very light working
	조명 <sup>114)</sup>	Sensible Heat 6.46W/m <sup>2</sup> (convection 0.28, radiation 0.72)
	기기	기기발열 무시
	schedule	
설정실온	20 ± 0.5℃ (On/Off Control)	
Simulation 기간	1~3월, 11~12월 (총 5개월)	

분석 대상세대는 인접세대와의 열 교환을 고려하여 분석대상 세대 좌·우 세대와 위·아래층을 함께 모델링하였으며, 인접세대의 경우 열 적 특성만을 반영하기 위해 전체 세대가 항상 20℃로 유지되는 하나의 thermal zone이라고 가정하여 모사하였다.(그림 3.6, 3.7)

113) ASHRAE, 2013, 2013 ASHRAE Handbook-Fundamental.

114) ASHRAE, 1992, ASHRAE/IES Standard 90.1.

시뮬레이션은 난방기간(11월~3월, 총 5개월)을 대상으로 수행하였다.

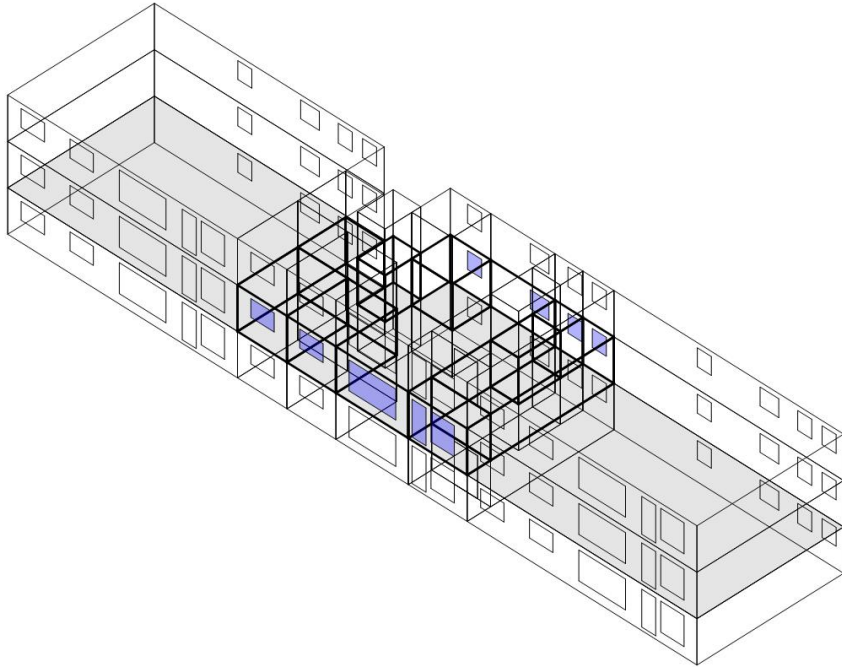


그림 3.6 주거건물 geometry modelling 현황

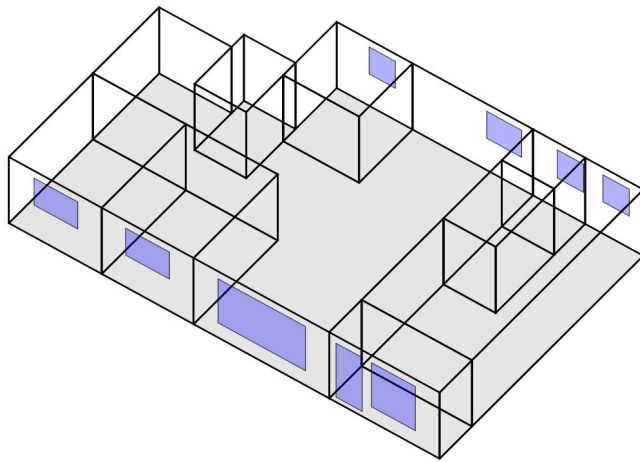


그림 3.7 대상세대 geometry modelling 현황

### 3.3.2 난방설비

분석 대상세대로 선정된 공동주택 설계도서에서 난방설비 설계 자료를 분석하였으며, EnergyPlus(ver. 8.6)를 이용한 정밀 부하 시뮬레이션을 수행하여 각 대상세대의 난방부하를 산출하여 난방설비 설계를 진행하였다. 설계 난방부하는 정미 계산된 정밀 부하 시뮬레이션 결과에 20%의 안전율을 가산하여 산정하였다.

검증된 복사난방 설계방법으로는 복사난방 시스템 관련 유럽기준인 EN 1264<sup>115)</sup>와 미국공기조화냉동공학회의 ASHRAE Handbook<sup>117)</sup>에 제시된 방법이 대표적이다. EN 1264에서는 설계 공급-환수온도 차이를 5℃로 가정하는 반면, ASHRAE Handbook에서는 10℃로 가정한다. 한편, 국내에서는 설계 공급-환수온도 차이를 개별난방 방식의 경우는 10℃, 지역난방 열원을 이용하는 중앙난방 방식의 경우는 15℃를 적용하고 있으므로, 본 연구에서는 국내 상황을 고려하여 ASHRAE Handbook에서 제시하는 설계방법을 활용하여 바닥 복사난방 패널을 설계하였다.(표 3.6)

바닥 복사난방 패널 설계과정에서 배관 관경과 배치 간격은 설계과정에서 최적화된 유일한 고정 값으로 산정되는 인자가 아니므로, 현재 일반적으로 적용되는 수준에서 소폭 조정하여 선정하였다. 따라서 공칭직경 15mm의 XL배관을 적용하였으며, 배치 간격은 방열량 뿐 아니라 바닥 표면온도의 쾌적에도 영향을 미치므로, 바닥 표면온도의 쾌적을 고려한 방열량 산정에 관한 연구내용<sup>118)</sup>을 고려하여 선정하였다.

---

115) CEN, 2008, EN 1264 Water based surface embedded heating and cooling systems, CEN.

116) Jan Babiak, Bjaren W. Olesen, Dusan Petras, 2007, Low temperature heating and high temperature cooling, REHVA.

117) ASHRAE, 2008, 2008 ASHRAE Handbook - HVAC Systems and Equipment, ASHRAE.

118) 신미수, op. cit., pp.45-53.



표 3.6 분석 대상세대 별 난방설비 현황

구 분			설계 관행	설계 난방부하 기준 설비설계	
				현행 공동주택 (2015년 기준)	에너지절약형 공동주택
기준 난방부하 (W/m <sup>2</sup> )			57~60	47	20
열원	용량 (kW)		29	5.0	2.2
	공급 온수온도 (℃)		60~70	55	41
	공급 온수유량 (LPM)		9~14	7.3	3.6
패널	배관 간격 (mm)	거실/식당	250	200	180
		침실 1	230	200	180
		침실 2	230	200	180
		침실 3	230	200	180
	배관 길이 (m)	거실/식당	236	295	327
		침실 1	54	62	69
		침실 2	54	62	69
		침실 3	98	115	126
	공급 유량 (LPM)	거실/식당	7.1	4.1	2.0
		침실 1	1.5	0.8	0.4
		침실 2	1.5	0.8	0.4
		침실 3	2.7	1.6	0.8
		계	12.8	7.3	3.6

### 3.4 소 결

난방 및 에너지 성능 개선을 위한 난방설비 대안구성과 대응방안을 도출하고 적용 타당성을 검증하기 위해, 운전 중 난방요구 변화와 이에 대한 난방설비 대응에 영향을 미치는 인자들을 난방수요 변화와 난방설비의 수요대응 측면으로 구분하여 도출하였다. 또한 영향인자에 의한 영향도 평가와 Hydronic Thermal Energy System의 적용 타당성 검증에 활용할 평가항목, 조건 및 대상 등 전반적인 평가체계를 구축하여 제시하였다.

(1) 난방수요 특성 관련 영향인자를 난방부하 계산과 난방운전 측면으로 구분하여 분석하였다. 난방수요에 영향을 미치지만 난방운전 중 임의조절이 불가능한 열관류율 및 외피 구성, 도입외기 양, 외기온도는 경계조건으로 선정하였으며, 국내 주거건물 난방운전 경향을 고려하여 연속운전과 간헐운전을 난방운전과 관련된 난방수요 영향인자로 선정하였다.

(2) 난방설비의 난방수요 대응에 영향을 미치는 인자들은 열에너지의 생산·전달·공급 과정으로 나누어 검토하였으며, 각각 공급 온수온도, 패널 열전달층의 열적 특성, 건물구조체의 열적 특성을 영향인자로 선정하였다. 공급 온수온도는 설계관행에 의한 값과 난방부하를 고려하여 산정된 값을, 패널 열전달층 열적 특성은 열용량과 열저항을 동시에 고려할 수 있는 열시정수를 패널형태(습식, 건식)와 관련하여 반영하고, 건물구조체 열적 특성은 구조체 열용량을 고려하여 단열방식을 반영하기로 결정하였다.

(3) 난방성능 및 쾌적과 에너지 소비 특성으로 구분하여 평가항목을 설정하였다. 난방성능 및 쾌적 평가항목으로 실내온도 분포와 바닥 표면

온도 분포를 선정하였으며, 난방에너지 소비 특성은 보일러의 가스소비량과 순환펌프 소비전력, 보일러 가동-정지 특성으로 평가하고자 한다.

(4) 난방부하 감소와 열적 환경변화를 반영하기 위한 대상 주거건물로 현행(2015년 인허가) 및 에너지절약형 주거건물을 선정하였으며, 대표성을 고려하여 전용면적 84m<sup>2</sup>의 판상형 공동주택 단위세대를 분석 대상세대로 결정하였다. 또한 설계도서와 문헌을 바탕으로 평가에 적용되는 대상세대의 열적 환경조건을 도출하였으며, 정밀 부하 시뮬레이션에 의해 산정된 난방부하를 근거로 대상세대 바닥 복사난방 패넌을 계획하였다.

---

## 제 4 장 난방거동 영향인자와 난방운전 특성

### 4.1 공급 온수온도

### 4.2 바닥 복사난방 패널의 열적 특성

### 4.3 건물구조체의 열적 특성

### 4.4 소결

---

난방부하 감소와 운전 중 난방수요 변화에 대한 난방설비의 대응으로써, 열에너지의 생산·전달·공급 과정의 영향인자들이 난방성능 및 쾌적, 난방운전 특성에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 평가하였다.

설계 난방부하의 감소는 현행 주거건물과 에너지절약형 주거건물을 평가대상으로 선정함으로써 고려하였고, 난방수요 변화는 외기조건과 난방운전 형태를 반영하여 구현하였다. 연속운전의 경우 기상데이터에 의한 외기조건과 내부발열에 의해서만 난방수요 변화가 발생하며, 간헐운전의 경우는 외기조건 및 내부발열과 함께 사용자의 난방운전 조작에 따라 난방수요 변화가 발생한다. 한편, 외기조건과 내부발열은 모든 분석대안에 동일하게 적용된 조건이므로, 난방운전 형태에 따른 현행 및 에너지절약형 주거건물의 열적 거동 특성 비교를 통해 설계 난방부하 감소와 운전 중 난방수요 변화에 따른 난방설비의 대응 특성을 파악하였다.

현행 및 에너지절약형 주거건물에서 난방운전 형태에 따라 공급 온수온도, 바닥 복사난방 패널의 열적 특성, 건물구조체의 열적 특성이 난방운전 및 열적 거동에 미치는 영향을 분석하여 각 절에 그 결과를 제시하였다.

현행 및 에너지절약형 주거건물에 대해 3.3절의 정보를 반영하여 시뮬레이션을 수행하였다. 영향인자에 의한 영향만을 고려하기 위해 동일한 평면을 사용하였으며, 건물구조체의 구성과 열적 물성만을 해당 주거건물 조건으로 반영하였다. 난방수요 변화 요인으로써 난방운전 형태는 연속운전과 간헐운전을 적용하였다. 간헐운전의 경우, 모든 세대 구성원이 채실하지 않는 시간대인 08시~20시까지는 난방을 정지하는 것으로 가정하였으며, 이 외의 시간대에는 연속운전을 하는 것으로 설정하였다.

각 절의 분석내용 중 실내온도, 실내 작용온도, 바닥 표면온도는 침실 중 하나(침실 3)를 분석대상 실로 선정하여 분석한 결과이며, 난방 가동 시간, 가동-정지 횟수, 가스소비량, 순환펌프 전력 소비량은 세대 전체에 해당되는 내용이다.

각각의 경우에 1일 중 채실시간은 20시부터 익일 08시까지 총 12시간이며, 실내온도는  $20\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 로 설정하여 제어하였으므로 실내 설정온도 상한과 하한은 각각  $20.5^{\circ}\text{C}$ 와  $19.5^{\circ}\text{C}$ 이다.

simulation은 겨울철(11월~3월, 총 5개월)에 대해 수행하였고, 세부적인 영향 분석이 필요한 항목에 대해서는 외기온도가 가장 낮은 날을 중심으로 5일간(1월 13일~17일), 외기온도가 주로 영상을 유지하는 기간을 중심으로 5일간(12월 17일~21일), 외기온도가 영상과 영하를 모두 나타내는 5일(12월 8일~12일)등의 기간을 선택하여 분석하였다.

## 4.1 공급 온수온도

열에너지 생산 과정에서의 영향인자인 공급 온수온도가 난방부하 감소와 운전 중 난방부하 변화에 따라 난방성능 및 난방운전 특성에 미치는 영향을 난방운전 형태에 따라 분석하였다.

일정한 설계 공급 온수온도를 유지하며 실별 on/off 제어를 통해 유량을 단속하는 국내 주거건물 난방제어 경향을 고려할 때, 공급 온수온도는 설계 공급 온수온도의 변동을 통해 평가가 가능하다. 따라서 공급 온수온도에 의한 난방성능 및 난방운전 특성 평가를 위한 설계 공급 온수온도로, 난방부하를 고려하지 않은 관행적 공급 온수온도와 난방부하를 고려하여 산출된 공급 온수온도(표 3.6)를 각각 적용하여 분석하였으며, 기타 난방설비 관련 정보도 표 3.6에 제시된 값을 반영하였다. 실제 적용된 패널의 형태를 반영하여 습식 바닥 복사난방 패널을 적용하였으며, 건물의 단열은 내단열을 적용하였다. 주요 평가조건은 표 4.1과 같다.

표 4.1 공급 온수온도에 따른 난방운전 특성 평가조건

구 분	반영 방법 또는 입력 값	
난방부하 감소	기존 공동주택	에너지절약형 공동주택
난방운전 형태	연속운전 / 간헐운전(난방시간 : 20시~익일 08시)	
공급 온수온도(℃)	70 / 55	70 / 41
바닥 난방패널(습식)	-관경 : 15mm -간격 : 관행 - 거실 250mm / 침실 230mm 설계 - 기존 200mm / 에너지절약형 180mm	
단열방식	내단열	

#### 4.1.1 연속운전 시 공급 온수온도의 영향

##### (1) 관행적 공급 온수온도 적용

기존 및 에너지절약형 공동주택에서 관행적 공급 온수온도를 적용하여 연속운전 할 때 난방운전 특성(표 4.2)을 분석하였다.

##### ① 기존 공동주택

기존 공동주택에서 전체 난방기간의 재실기간 중 분석대상 실의 실내온도는 20.0~23.0℃(연중 실내 평균온도 20.4℃)의 분포를 보였으며, 실내온도가 전반적으로 설정범위보다 약간 높게 나타났다. 재실기간 중 실내 설정온도 상한 초과시간은 1일 재실시간의 약 25%에 해당되는 3시간 정도로 나타났다. 이는 습식 바닥 복사난방 패널의 열적 관성에 의한 과열현상에 의한 것으로 판단되며, 설정온도 상한 초과시간이 월 평균 외기온도가 가장 낮은 1월에 가장 작게 나타나고, 월 평균 외기온도가 비교적 높은 11월(39%)과 3월(31%)에 크게 나타나는 것을 통해서 확인할 수 있다. 실내온도가 설정온도 하한 이하로 하강하는 경우는 발생하지 않았다.

전체 난방기간의 재실기간 중 바닥 표면온도는 21.5~27.1℃(연중 평균 바닥 표면온도 24℃)의 분포를 보였다. 재실기간 중 EN 1264등에서 제시하고 있는 바닥 표면온도의 쾌적 상한은 초과하지 않았으나, 최저 표면온도 분포를 볼 때 우리나라의 좌식생활 문화를 고려한다면 낮은 바닥 표면온도에 의한 불쾌적 가능성이 있다고 판단된다.

바닥 면을 가열하는 복사난방의 특성 상, 실내 작용온도 평균은 평균 실내온도에 비해 1℃ 높은 21.4℃로 나타났다.

표 4.2 관행적 공급 온수온도를 적용한 연속운전 시 난방운전 특성

구 분			11월	12월	1월	2월	3월	연중
기존 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	20.6	20.3	20.3	20.4	20.5	20.4
		최저 (℃)	20.1	20.1	20.0	20.0	20.0	20.0
		최고 (℃)	23.0	21.9	21.9	22.3	22.0	23.0
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	04:41	02:20	01:59	02:23	03:41	03:01
			39.1	19.5	16.6	19.9	30.8	25.2
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	실내 작용온도 평균 (℃)		21.4	21.4	21.5	21.5	21.4	21.4
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	23.1	24.3	24.8	24.5	23.5	24
		최저 (℃)	21.5	22.4	22.9	22.6	21.9	21.5
		최고 (℃)	25.3	26.6	27.1	26.7	25.5	27.1
	운전	가동누적 시간(hr)	04:35	07:13	07:50	07:16	05:27	06:28
		가동-정지 횟수(회)	55	73	66	61	56	311
에너지 절약형 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	21.9	20.8	20.9	21.0	21.5	21.2
		최저 (℃)	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
		최고 (℃)	25.2	22.8	23.2	24.9	24.5	25.2
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	10:51	07:31	07:15	07:12	10:23	08:39
			90.5	62.7	60.4	60.1	86.6	72.2
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	실내 작용온도 평균 (℃)		22.3	21.3	21.4	21.5	22.0	21.7
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	22.8	22.4	22.6	22.6	22.6	22.6
		최저 (℃)	21.3	21.2	21.4	21.3	21.2	21.2
		최고 (℃)	25.9	23.9	24.6	26.1	25.7	26.1
	운전	가동누적 시간(hr)	00:30	01:56	02:03	02:19	00:21	01:25
		가동-정지 횟수(회)	8	33	33	28	9	111

## ② 에너지절약형 공동주택

에너지절약형 공동주택에서 전체 난방기간 동안 재실기간 중 분석대상  
실의 실내온도는 20.2~ 25.2℃(연중 실내 평균온도 21.2℃)의 분포를 보였



다. 실내온도가 전반적으로 설정범위보다 높게 유지되었으며, 기존 공동주택에서보다 초과 정도가 더 크게 나타났다.

재실시간 중 실내 설정온도 상한 초과시간은 1일 재실시간의 약 72%에 해당되는 8시간 40분에 달했다. 기존 공동주택에서와 마찬가지로 습식 바닥 복사난방 패널의 열적 관성에 의한 과열현상에 의한 것으로 판단되며, 실내온도가 설정온도 하한 이하로 하강하는 경우는 발생하지 않았다.

전체 난방기간의 재실시간 중 바닥 표면온도는 21.2~26.1℃(연중 평균 바닥 표면온도 22.6℃)의 분포를 보였으며, 재실시간 중 바닥 표면온도의 쾌적 상한은 초과하지 않았으나, 낮은 바닥 표면온도에 의한 불쾌적 문제 발생 가능성이 있다고 판단된다.

실내 작용온도의 연중 평균은 21.7℃로, 실내온도의 재실기간 중 연중 평균에 비해 0.5℃ 높게 나타났다.

## (2) 난방부하를 고려한 공급 온수온도 적용

기존 및 에너지절약형 공동주택의 난방부하를 고려한 공급 온수온도를 적용하여 연속운전 할 때의 난방운전 특성(표 4.3)을 분석하였다.

### ① 기존 공동주택

전체 난방기간의 재실기간 중 분석대상 실의 실내온도는 19.7~ 23.0℃(연중 실내 평균온도 20.3℃)의 분포를 보였으며, 실내온도가 전반적으로 설정범위보다 약간 높게 유지되었다. 재실기간 중 실내 설정온도 상한 초과시간은 1일 재실시간의 약 21%에 해당되는 2시간 30분 정도로 나타났다.

전체 난방기간의 재실기간 중 바닥 표면온도는 21.5~26.5℃(평균 24℃)의 분포를 보였다. 재실기간 중 바닥 표면온도의 쾌적 상한은 초과하지 않았으나, 낮은 바닥 표면온도에 의한 불쾌적 문제 발생 가능성이 있다.

표 4.3 난방부하를 고려한 공급 온수온도를 적용한 연속운전 시 난방운전 특성

구 분			11월	12월	1월	2월	3월	연중
기존 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	20.5	20.3	20.2	20.3	20.4	20.3
		최저 (℃)	20.0	19.8	19.7	19.7	20.0	19.7
		최고 (℃)	23.0	21.8	21.8	22.3	21.9	23.0
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	04:21	01:45	01:17	01:49	03:20	02:30
			36.3	14.6	10.8	15.2	27.8	21.0
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	실내 작용온도 평균 (℃)		21.3	21.3	21.4	21.4	21.3	21.4
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	23.1	24.2	24.7	24.4	23.4	24.0
		최저 (℃)	21.5	22.3	22.9	22.6	21.9	21.5
		최고 (℃)	25.2	26.4	26.5	26.3	25.3	26.5
	운전	가동누적 시간(hr)	05:11	08:10	08:59	08:16	06:02	07:19
		가동-정지 횟수(회)	46	46	44	43	56	235
에너지 절약형 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	21.9	20.7	20.8	20.9	21.5	21.2
		최저 (℃)	20.1	20.1	20.0	19.9	20.1	19.9
		최고 (℃)	25.2	22.7	23.2	24.9	24.4	25.2
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	10:42	06:58	06:30	06:38	10:03	08:11
			89.2	58.1	54.3	55.4	83.8	68.3
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	실내 작용온도 평균 (℃)		22.2	21.2	21.3	21.4	21.9	21.6
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	22.8	22.2	22.5	22.6	22.5	22.5
		최저 (℃)	21.3	21.2	21.4	21.3	21.2	21.2
		최고 (℃)	25.9	23.9	24.5	26.1	25.6	26.1
	운전	가동누적 시간(hr)	00:40	02:53	03:05	03:10	00:32	02:03
		가동-정지 횟수(회)	9	37	39	30	10	125

## ② 에너지절약형 공동주택

전체 난방기간 동안의 재실기간 중 분석대상 실의 실내온도는 19.9~25.2℃(연중 실내 평균온도 21.2℃)의 분포를 보였으며, 실내온도가 전반적으로 설정범위보다 높게 유지되었다. 재실기간 중 실내 설정온도 상한 초과시간은 1일 재실시간의 약 68%에 해당되는 8시간 11분 정도에 달하는 것으로 나타났다. 전체 난방기간 중 재실기간의 바닥 표면온도는 21.2~26.1℃(평균 바닥 표면온도 22.5℃)의 분포를 보였다.

## (3) 연속운전 중 공급 온수온도의 영향

그림 4.1은 연속운전이 적용된 기존 및 에너지절약형 공동주택에서 외기온도가 가장 낮은 날을 전후한 5일간의 난방운전 특성을 나타낸 그래프로, 난방운전 중 전반적인 열적 거동은 기존 공동주택과 에너지절약형 공동주택에서 유사하게 나타났다.

외기온도가 낮아 최대 난방부하 조건과 유사함에도 불구하고, 실내온도가 전반적으로 설정 실내온도 범위를 상회하여 과열현상이 발생하는 것으로 나타났다.

재실하지 않는 낮 동안에는 외기온도가 비교적 높을 뿐 아니라 일사의 영향으로 실내온도가 높게 유지되어, 난방이 수행되지 않음에도 불구하고 실내온도와 바닥 표면온도가 높게 유지되었다.

실내온도가 설정온도에 도달하여 난방운전이 정지된 후 다시 재가동될 때는 순간적으로 많은 열량이 실내에 공급되는 것으로 나타났으며, 기존 공동주택에 비해 난방부하가 작은 에너지절약형 공동주택에서는 적은 열량의 공급으로도 설정 실내온도에 도달하므로 운전시간이 대폭 감

소되는 것을 확인(표 4.2, 표 4.3)할 수 있다. 이러한 현상은 난방수요(단  
위시간당 요구열량)에 비해 공급 온수온도가 높을 뿐 아니라 바닥 복사  
난방 패널이 비교적 높은 온도를 유지(축열)한 상태에서 즉시 실내에 열  
을 공급할 수 있었기 때문으로 분석된다.

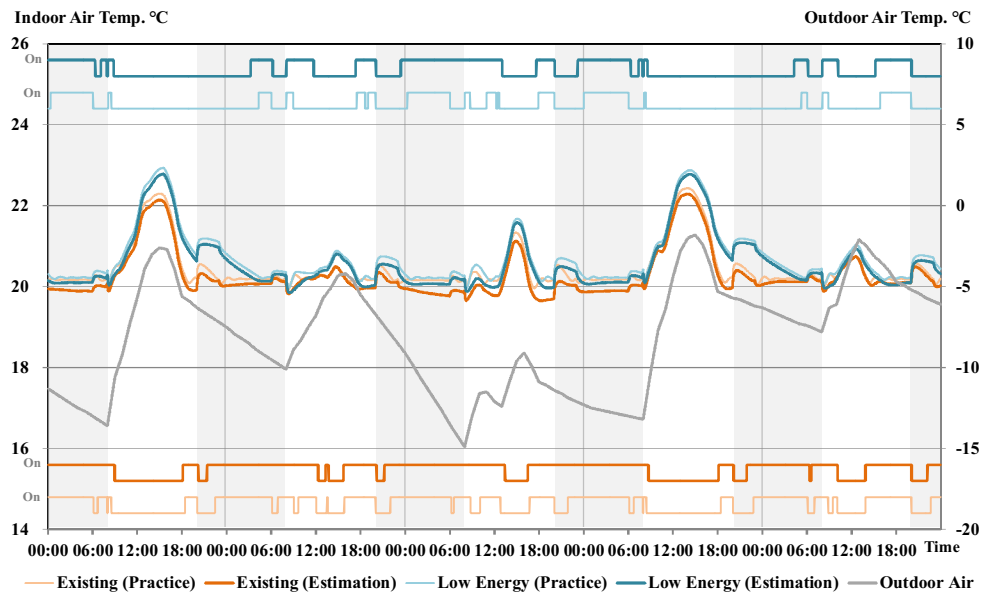


그림 4.1 연속운전 중 공급 온수온도에 따른 난방운전 특성(1월 13일~17일)

한편, 기존 및 에너지절약형 공동주택에서 외기온도가 영상과 영하를  
모두 나타내는 기간과 주로 영상을 유지하는 기간에도 외기온도가 가장  
낮은 날을 전후한 기간과 유사한 열적 거동을 나타냈다. 그러나 주로 영  
상의 외기온도를 나타내는 구간의 경우, 외기온도가 더 낮았던 두 경우  
에 비해 난방운전 중 열량공급의 단속(斷續)이 빈번하게 나타났으며, 이  
는 설계 난방부하와 운전 중 난방부하의 크기로 인해 해당 기간의 난방  
부하에 비해 공급 온수온도가 높아서 나타나는 현상으로 판단된다. 이

경우, 보일러의 잦은 가동 및 정지로 인해 일반적인 운전에서보다 추가적인 에너지의 소비가 초래될 것으로 판단된다.

연속운전 중 공급 온수온도에 따른 난방운전 특성을 종합하여 표 4.4에 정리하였다.

표 4.4 연속운전 중 공급 온수온도의 영향

구 분	기존 공동주택		에너지절약형 공동주택	
	관행	부하 고려	관행	부하 고려
연중 평균 실내온도(℃)	20.4 (20.0~23.0)	20.3 (19.9~23.0)	21.2 (20.2~25.2)	21.2 (19.9~25.2)
설정온도 상한 초과시간	3hr 01min (25%)	2hr 30min (21%)	8hr 39min (72%)	8hr 11min (68%)
설정온도 하한 미달시간	0hr 0min (0%)	0hr 0min (0%)	0hr 0min (0%)	0hr 0min (0%)
연중 작용온도 평균(℃)	21.4	21.4	21.7	21.6
연중 바닥 표면온도(℃)	24.0 (21.5~27.1)	24.0 (21.5~26.5)	22.6 (21.2~26.1)	22.5 (21.2~26.1)
운전 누적시간	6hr 28min	7hr 19min	1hr 25min	2hr 03min

기존 공동주택과 에너지절약형 공동주택에서 관행적 공급 온수온도와 부하를 고려한 공급 온수온도에 의한 평균 실내온도는 큰 차이를 나타내지는 않았다. 그러나 유지된 실내온도 범위를 볼 때 에너지절약형 공동주택에서는 과잉 열량 공급에 의한 과열현상이 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

이는 실내 설정온도 상한 초과시간을 비교해 보면 더욱 확실히 드러나는데, 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서 실내 설정온도 상한을 초과하는 시간이 큰 폭으로 증가하는 것을 알 수 있다.

또한 각 공동주택에서는 관행적 공급 온수온도를 적용하는 경우가 부하를 고려한 공급 온수온도를 적용하는 경우에 비해 실내온도 설정 상한 초과시간이 약간 길게 나타나는데, 이는 관행적 공급 온수온도가 부하를 고려한 경우에 비해 높아 실제 운전 중 요구되는 공급 온수온도와의 편차가 커짐으로 인한 과잉 열량 공급에 의한 것으로 판단된다.

실내온도가 설정 상한을 초과하는 것은 공급 온수온도 조건과 함께 습식 바닥 복사난방 패널의 열적 관성도 영향을 미쳐, 단위시간당 공급열량이 단위시간당 요구열량에 비해 크기 때문으로 판단되며, 비교적 난방 부하가 작은 11월이나 3월에 실내온도 설정 상한 초과현상이 더욱 빈번하게 나타나는 것으로부터 설계 공급 온수온도로 일정하게 온수를 공급할 때 부분부하 조건에서 열량이 과잉 공급됨으로 인해 이러한 현상이 심화되는 것을 유추할 수 있다.

실내 설정온도 하한에 미달하는 경우가 발생하지 않은 것은, 설계 공급 온수온도의 결정이 최대 난방부하를 기준으로 하기 때문이며, 연속운전에 의한 난방설비의 운전 특성에서 기인하는 것으로 판단된다.

기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서 실내온도와 작용온도의 편차가 작게 나타나는데, 이는 에너지절약형 공동주택에서의 부하 감소로 인한 바닥 표면온도의 감소가 복사 열전달 효과의 감소로 연결되기 때문인 것으로 사료된다.

한편, 난방부하가 감소할수록 바닥 표면온도가 하강하며, 난방부하의 크기가 감소하는 에너지절약형 공동주택에서는 바닥 표면온도의 쾌적 하한에 대한 고려가 요구된다.

각 공동주택에서 관행적 공급 온수온도로 공급한 경우와 난방부하를 고려하여 산정한 공급 온수온도로 공급한 경우를 비교할 때, 난방부하를 고려한 공급 온수온도로 공급한 경우 실내온도 설정 상한 초과시간이 대폭 감소하였고, 바닥 표면온도는 약간 낮게 유지되었다. 난방부하가 고려된 온수온도로 인해 관행적 적용에 비해 단위시간당 열량 공급이 감소했기 때문으로 판단된다. 그러나 난방설비의 운전시간은 관행적 공급 온수온도로 공급될 경우에 비해 난방부하를 고려하여 산정한 공급 온수온도로 공급할 경우 각각 50분, 40분 정도 증가하였는데, 이는 단위시간당 공급 열량이 감소함에 따라 난방부하가 지속적으로 발생할 때 난방운전도 지속되었기 때문이라 판단된다.

#### 4.1.2 간헐운전 시 공급 온수온도의 영향

##### (1) 관행적 공급 온수온도 적용

기존 및 에너지절약형 공동주택에서 관행적 공급 온수온도를 적용하여 간헐운전 할 때 난방운전 특성(표 4.5)을 분석하였다.

##### ① 기존 공동주택

전체 난방기간의 재실기간 중 분석대상 실의 실내온도는 17.3~23.0℃ (연중 실내 평균온도 20.2℃)의 분포를 나타내고 있어, 대체로 설정온도를 유지하지만 설정 실온범위를 중심으로 난방부족 및 과잉현상이 발생하는 기간이 존재함을 알 수 있다. 재실기간 중 실내 설정온도 상한 초과시간은 1일 재실시간의 약 14%에 해당되는 1시간 40분 정도로 나타났으며, 연속운전에 비해 과열현상이 빈번하지 않은 것을 알 수 있다.

표 4.5 관행적 공급 온수온도를 적용한 간헐운전 시 난방운전 특성

구 분			11월	12월	1월	2월	3월	연 중
기존 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	20.5	20.1	20.0	20.2	20.4	20.2
		최저 (℃)	17.8	17.3	17.3	17.7	18.7	17.3
		최고 (℃)	23.0	21.8	21.8	22.3	22.0	23.0
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	03:15	00:52	00:41	01:13	02:24	01:41
			27.2	7.3	5.8	10.2	20.0	14.1
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:08	00:47	01:30	00:48	00:05	00:40
			1.2	6.6	12.5	6.8	0.7	5.6
	실내 작용온도 평균 (℃)		21.3	21.2	21.2	21.3	21.3	21.3
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	23.2	24.3	24.8	24.6	23.5	24.1
		최저 (℃)	20.8	20.6	20.6	21.3	20.9	20.6
		최고 (℃)	25.8	26.9	27.3	27.0	25.7	27.3
	운 전	가동누적 시간(hr)	05:42	09:35	09:55	09:12	06:56	08:16
		가동-정지 횟수(회)	54	53	42	46	53	248
에너지 절약형 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	21.9	20.7	20.7	20.9	21.5	21.1
		최저 (℃)	19.5	18.7	18.6	18.9	19.6	18.6
		최고 (℃)	25.2	22.6	23.1	24.9	24.5	25.2
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	10:31	05:52	05:20	05:52	09:57	07:31
			87.8	49.0	44.5	48.9	82.9	62.7
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:00	00:03	00:06	00:02	00:00	00:02
			0.0	0.5	0.9	0.3	0.0	0.3
	실내 작용온도 평균 (℃)		22.2	21.2	21.3	21.4	21.9	21.6
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	22.8	22.3	22.6	22.6	22.6	22.6
		최저 (℃)	21.0	20.4	20.4	20.8	20.7	20.4
		최고 (℃)	25.9	23.9	24.5	26.1	25.7	26.1
	운 전	가동누적 시간(hr)	00:47	03:21	03:45	03:33	00:38	02:24
		가동-정지 횟수(회)	10	43	49	41	13	157

월 평균 외기온도가 가장 낮은 1월에 상한초과 시간이 5%에 불과했는데, 이는 간헐운전 적용 시 재실하지 않은 시간동안 난방운전을 정지함



으로 인해 냉각되었던 바닥 복사난방 패널을 가열하는 과정에서 나타나는 현상이라 판단된다. 즉, 난방부하가 비교적 큰 1월에는 난방정지 기간 이후 재가동 시 설정실온에 도달하는 시간이 오래 소요되는데, 설계조건보다 온도가 더 낮은 상태이므로 단위시간당 요구열량에 비해 단위시간당 공급열량이 부족하기 때문인 것으로 판단된다. 이는 월 평균 외기온도가 비교적 높은 11월(27%)과 3월(20%)에 상한을 초과하는 시간이 크게 나타나는 것을 통해서도 확인할 수 있다.

한편, 재실기간 중 실내 설정온도 하한에 미달한 경우는 1월이 가장 크게 나타났으며, 1일 재실시간의 약 12.5%에 해당되는 1시간 30분 동안 설정온도 범위를 벗어난 것으로 나타났다.

전체 난방기간의 재실시간 중 바닥 표면온도는 20.6~ 27.3℃(연중 평균 바닥 표면온도 24.1℃) 범위를 유지하였다. 재실시간 중 낮은 바닥 표면온도에 의한 불쾌적 문제가 있을 수 있다고 판단된다.

재실기간의 연중 실내 작용온도 평균은 21.3℃로 나타났다.

## ② 에너지절약형 공동주택

전체 난방기간의 재실기간 중 분석대상 실의 실내온도는 18.6~25.2℃(연중 실내 평균온도 21.1℃)의 분포를 나타내었다. 실내온도가 설정범위보다 비교적 높게 유지되고 있지만, 설정범위보다 낮은 온도로 유지되는 기간이 존재하는 것을 알 수 있다. 재실기간 중 실내 설정온도 상한초과시간은 1일 재실시간의 약 63%에 해당되는 7시간 30분에 달하는 것으로 나타났으나, 연속운전에 비해 과열현상이 빈번하지 않은 것을 확인할 수 있다. 월 평균 외기온도가 가장 낮은 1월에 설정온도 상한 초과시간이 약 45%에 달했는데, 난방부하에 비해 공급 온수온도가 높아 단위시간당 공급열량이 단위시간당 요구열량보다 크기 때문으로 판단된다. 한편, 동

일한 특성으로 인해, 재실하지 않는 기간 난방정지 후 재가동 시에는 빠르게 설정실온에 도달하는 것으로 나타났다. 이는 설정실온 이하의 실내온도로 유지된 시간이 가장 긴 1월의 결과를 보면 더욱 명확히 알 수 있는데, 1월에는 1일 재실시간의 1%에 해당되는 6분만이 설정실온 이하로 유지되었다. 즉, 재실하지 않는 기간 난방정지 후 재가동 시에 큰 단위시간당 공급열량에 의해 빠르게 실내온도가 설정범위로 회복 되었을 뿐 아니라, 난방이 지속되는 동안에는 과잉 열량의 공급으로 바닥 복사난방 패널에 충분한 열을 저장하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

재실시간 중 바닥 표면온도는 20.4~ 26.1℃(평균 22.6℃)의 분포를 보였으며, 낮은 바닥 표면온도에 의한 불쾌적 문제가 있을 수 있다.

## (2) 난방부하를 고려한 공급 온수온도 적용

기존 및 에너지절약형 공동주택의 난방부하를 고려한 공급 온수온도를 적용하여 간헐운전 할 때의 난방운전 특성(표 4.6)을 분석하였다.

### ① 기존 공동주택

재실기간 중 분석대상 실의 실내온도는 15.7~ 22.9℃(평균 19.9℃)로 나타났다. 대체로 설정범위로 유지되지만 설정온도 하한에 크게 미치지 못하는 기간이 빈번하였을 뿐 아니라 실내온도의 변동 폭도 크게 나타났다. 재실기간 중 실내 설정온도 상한 초과시간은 1일 재실시간의 약 13%에 해당되는 1시간 30분 정도로 나타났으며, 실내 설정온도 하한에 미치지 못하는 시간이 20%에 해당하는 2시간 30분 정도로 나타났다. 실내온도가 실내 설정온도 하한에 미치지 못하는 경우는 재실하지 않는 기

간 동안의 난방정지 후 재가동 시에 나타나는 현상으로, 연속운전을 가정하여 계획된 난방설비가 난방 정지 시 하강한 실내온도와 바닥 복사난방 패널 냉각 조건을 연속운전 조건으로 회복하는데 걸리는 시간에 의한 것으로 판단된다.

재실시간 중 바닥 표면온도는 19.9~ 26.2℃(연중 평균 23.6℃) 범위를 유지하였으며, 낮은 바닥 표면온도에 의한 불쾌적 문제에 대한 고려가 필요하다고 판단된다.

## ② 에너지절약형 공동주택

재실시간 중 분석대상 실의 실내온도는 18.5~ 25.2℃(평균 21.0℃) 범위로 유지되어, 실내온도가 전반적으로 설정범위보다 실내온도가 높게 유지된 것을 알 수 있다. 그러나 설정온도보다 낮은 경우가 일부 존재하여 해당 기간에서 난방부족이 발생하는 것으로 판단된다. 재실기간 중 실내 설정온도 상한 초과시간은 1일 재실시간의 약 59%에 해당되는 7시간에 달하는 것으로 나타났다.

재실기간 중 바닥 표면온도는 평균 22.5℃를 나타냈으며, 20.3~26.0℃ 범위를 유지하였다.

## (3) 간헐운전 중 공급 온수온도의 영향

간헐운전 중 공급 온수온도에 따른 난방운전 특성을 종합하면 표 4.7과 같다. 기존 공동주택과 에너지절약형 공동주택에서 관행적 공급 온수온도와 부하를 고려한 공급 온수온도에 의한 전체 난방기간 동안 재실기간 중 평균 실내온도와 실내온도의 최댓값은 큰 차이를 보이지는 않았

다. 그러나 최저 실내온도는 연속운전의 경우에 비해 큰 폭으로 하강하였는데, 연속운전 중 최저 실내온도와의 차이는 에너지절약형 공동주택에 비해 기존 공동주택에서 더 크게 발생했다.

표 4.6 난방부하를 고려한 공급 온수온도를 적용한 간헐운전 시 난방운전 특성

구 분			11월	12월	1월	2월	3월	연중
기존 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	20.4	19.8	19.3	19.8	20.3	19.9
		최저 (℃)	17.7	17.0	15.7	17.3	18.7	15.7
		최고 (℃)	22.9	21.8	21.6	22.3	21.9	22.9
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	03:01	00:49	00:25	01:01	02:17	01:31
			25.3	6.9	3.5	8.6	19.1	12.7
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:20	03:10	05:04	03:16	00:08	02:23
			2.8	26.5	42.3	27.2	1.2	20.0
	실내 작용온도 평균 (℃)		21.2	20.8	20.5	20.9	21.2	20.9
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	23.0	23.8	23.8	24.0	23.4	23.6
		최저 (℃)	20.8	20.6	19.9	20.9	20.8	19.9
		최고 (℃)	25.5	26.1	26.2	26.2	25.4	26.2
	운 전	가동누적 시간(hr)	06:44	10:33	11:12	10:24	07:48	09:20
		가동-정지 횟수(회)	41	17	11	13	39	121
에너지 절약형 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	21.8	20.6	20.5	20.8	21.5	21.0
		최저 (℃)	19.4	18.7	18.5	18.8	19.6	18.5
		최고 (℃)	25.2	22.6	23.1	24.9	24.4	25.2
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	10:21	05:11	04:51	05:17	09:33	07:03
			86.3	43.3	40.5	44.1	79.6	58.9
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:00	00:09	00:20	00:05	00:00	00:07
			0.0	1.4	2.8	0.8	0.0	1.0
	실내 작용온도 평균 (℃)		22.2	21.1	21.1	21.3	21.9	21.5
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	22.8	22.1	22.4	22.5	22.5	22.5
		최저 (℃)	20.9	20.3	20.3	20.7	20.7	20.3
		최고 (℃)	25.9	23.8	24.5	26.0	25.6	26.0
	운 전	가동누적 시간(hr)	01:07	04:55	05:41	05:04	01:01	03:33
		가동-정지 횟수(회)	9	27	25	21	15	98

표 4.7 간헐운전 중 공급 온수온도의 영향

구 분	기존 공동주택			에너지절약형 공동주택		
	연속운전	간헐운전		연속운전	간헐운전	
	부하 고려	관행	부하 고려	부하 고려	관행	부하 고려
연중 평균 실내온도(℃)	20.3 (19.9~23.0)	20.2 (17.3~23.0)	19.9 (15.7~22.9)	21.2 (19.9~25.2)	21.1 (18.6~25.2)	21.0 (18.5~25.2)
설정온도 상한 초과시간	2hr 30min (21%)	1hr 41min (14%)	1hr 31min (13%)	8hr 11min (68%)	7hr 31min (63%)	7hr 03min (59%)
설정온도 하한 미달시간	0hr 0min (0%)	0hr 40min (6%)	2hr 23min (20%)	0hr 0min (0%)	0hr 02min (0.3%)	0hr 07min (1%)
연중 작용온도 평균(℃)	21.4	21.3	20.9	21.6	21.6	21.5
연중 바닥 표면온도(℃)	24.0 (21.5~26.5)	24.1 (20.6~27.3)	23.6 (19.9~26.2)	22.5 (21.2~26.1)	22.6 (20.4~26.1)	22.5 (20.3~26.0)
운전 누적시간	7hr 19min	8hr 16min	9hr 20min	2hr 03min	2hr 24min	3hr 33min

연속운전과 비교할 때 평균 실내온도가 큰 차이가 나지 않는 것은 재실기간 중 대부분의 기간에서 설정범위 내로 실내온도가 유지된다는 것을 의미한다. 또한 실내온도의 최댓값도 차이를 보이지 않는 것을 통해 연속운전의 경우와 유사한 정도의 과열현상이 발생되는 알 수 있다. 실내온도 설정 상한 초과시간이 연속운전에 비해 각 공동주택 유형에서 각각 1시간 정도 감소하였으나, 에너지절약형 공동주택에서는 재실기간의 약 60%에 해당하는 시간동안 실내온도 설정 값을 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 에너지절약형 공동주택에서는 연속운전의 경우와 마찬가지로 여전히 과잉 열량 공급의 문제가 발생하는 것으로 파악되었다.

그러나 실내온도의 최솟값은 연속운전의 경우에 비해 기존 및 에너지절약형 공동주택에서 크게 하강하였는데, 이는 재실하지 않는 기간 중 난방을 정지함으로 인해 설정온도 이하로 하강한 실내온도를 난방을 재가동하여 다시 설정온도로 회복하는 과정에서 나타나는 현상이다. 이러한 현상은 난방부하가 비교적 큰 기간에는 더욱 심각하게 발생하는 것으로 나타났다.

그림 4.2는 간헐운전이 적용된 기존 및 에너지절약형 공동주택에서 외기온도가 가장 낮은 날을 중심으로 5일간의 난방운전 특성을 나타낸 그래프이다. 재실하지 않는 낮 동안에 난방운전이 정지되므로, 외기온도가 하강하며 일사량이 감소하기 시작하는 오후에는 실내온도가 하강한다. 난방부하가 비교적 큰 기존 공동주택에서는 외기온도가 비교적 낮은 날에 그 하강 폭이 커서 난방중단 후 재가동 시 설정실온까지 도달하는데 많은 시간이 소요되며, 이 기간 동안에는 난방부족으로 인한 불쾌적 문제가 발생한다.

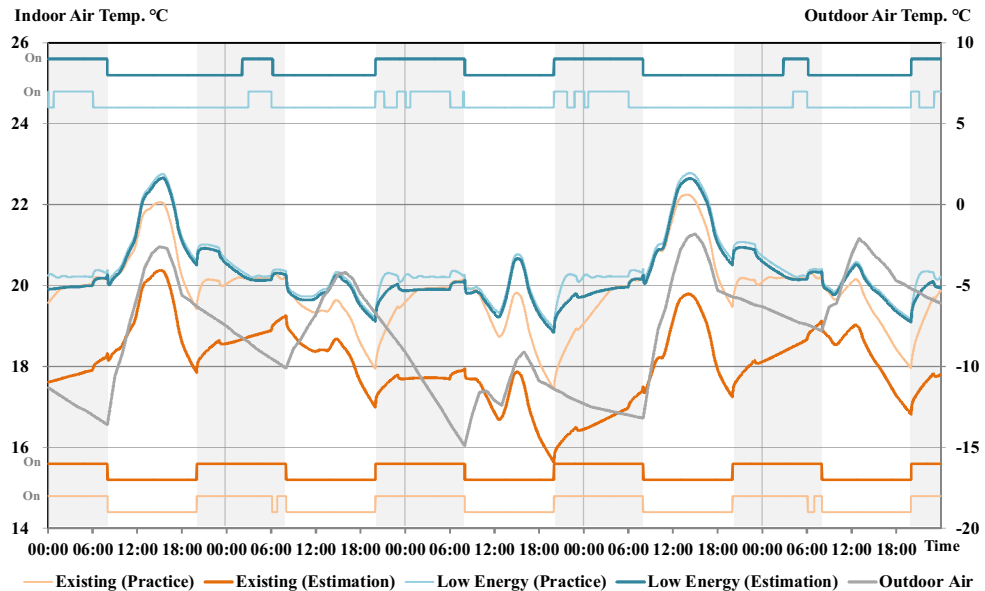


그림 4.2 간헐운전 중 공급 온수온도에 따른 난방운전 특성(1월 13일~17일)

특히 연속운전 시 난방부하를 고려한 공급 온수온도가 적용된 기존 공동주택의 경우, 외기온도가 매우 낮은 이 기간에는 재실기간 중 지속적으로 난방함에도 불구하고 하강한 실내온도를 설정온도까지 회복시키지 못하고 있음을 그림 4.2의 실내온도 분포 그래프에서 확인할 수 있다.

이와 같이 난방부하가 비교적 큰 경우에는 관행적 공급 온수온도를 적용한 경우에도 장기간 난방정지 후 재가동 기간에 설정온도에 빠르게 도달하지 못함으로 인한 난방불쾌적 기간이 발생한다. 그러나 관행적 공급 온수온도를 적용한 경우, 기본적으로 단위시간당 요구열량에 비해 큰 열량을 공급할 조건을 충족하고 있으므로, 일단 설정실온에 도달한 이후에는 비교적 설정온도 범위 내로 실내온도를 유지하는 것으로 나타났다.

한편, 에너지절약형 공동주택에서는 재실하지 않는 낮 시간에 실내온도 하강 폭이 기존 공동주택에 비해 작으며, 낮 동안의 일사에 의해 오

히려 실내온도가 난방 설정실온을 상회하는 구간도 존재한다. 오후에는 실온이 약간 하강하지만, 재실하지 않는 기간 동안의 난방중단 후 재가동 시 비교적 빠른 시간에 설정실온을 회복하는 것으로 나타났다.

그러나 난방 재가동 시 설정실온에 도달하기까지는 설정실온 하한 미달로 인해 난방부족 문제는 여전히 남아있으며, 특히 연속운전을 가정한 난방 부하를 고려한 공급 온수온도의 경우가 관행적 적용의 경우에 비해 이러한 기간이 길게 나타난다. 에너지절약형 공동주택에서는 난방중단 후 재가동 시점까지 실내온도가 큰 폭으로 하강하지 않기 때문에, 단위시간당 공급 열량이 난방수요에 비해 큰 관행적 적용의 경우에는 설정실온을 상회하여 불필요하게 열을 공급하는 문제가 여전히 발생하는 것으로 판단된다.

외기온도가 상대적으로 높은 기간에는 난방부하가 작으므로 난방중단 기간에 실내온도가 소폭 하락하지만, 재가동 시 설정 실온범위로 빠르게 회복되었다. 그러나 이 경우, 단위시간당 요구열량에 비해 단위시간당 공급열량이 크므로 난방의 정지-가동이 빈번하게 일어나는 것을 확인할 수 있었으며, 다른 날에 비해 보일러의 잦은 가동 및 정지로 인해 일반적인 운전에서보다 추가적인 에너지의 소비가 초래될 것으로 판단된다.

연속운전의 경우와 마찬가지로, 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서 실내온도와 작용온도의 편차가 작게 나타나며, 이는 에너지절약형 공동주택에서의 부하 감소로 인한 바닥 표면온도의 감소에 의한 것으로 사료되며, 복사 열전달 효과로 인해 대류난방 방식에 비해 전반적인 열 쾌적(total human comfort)을 수월하게 달성할 수 있다는 복사 난방의 일반적인 장점을 크게 활용하지 못하는 상황이 유발된다고 할 수 있다.



난방운전 누적시간은 연속운전의 경우와 마찬가지로 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서 작게 나타났다. 각 공동주택 유형에서 연속운전에 비해 간헐운전 시 운전 누적시간이 증가하고 있는데, 이는 난방중단 후 재가동 시 실내 설정온도 도달 과정에서의 운전시간 증가에 의한 결과로 사료된다. 또한 관행적 공급 온수온도를 적용한 경우에 비해 단위시간당 공급열량이 상대적으로 작으므로, 난방부하를 고려한 공급 온수온도 적용 시의 운전 누적시간이 증가하는 경향을 보였다.

## 4.2 바닥 복사난방 패널의 열적 특성

열에너지 전달 과정에서의 영향인자인 바닥 복사난방 패널의 열적 특성이 난방부하의 감소와 운전 중 부하변화에 따라 난방성능 및 난방운전 특성에 미치는 영향을 난방운전 형태에 따라 분석하였다.

바닥 복사난방 패널은 다양한 구성과 자재 선택이 가능하지만, 적용가능성을 고려한 합리적인 열적 특성(열시정수) 범위에서 평가하기 위해 기존의 습식 바닥 복사난방 패널과 건식 바닥 복사난방 패널 적용 시 난방운전 및 열적 거동 특성을 분석하였다. 또한 기존 및 에너지절약형 주거건물의 공급 온수온도 조건과 배관 관경 및 간격은 난방부하를 고려한 설계를 통해 산정된 결과(표 3.6)를 반영하였다. 건물의 단열은 기존 공동주택의 건물외피 구성을 고려하여 내단열을 적용하였다.

건식 바닥 복사난방 패널은 실제 산업현장에서 유통되는 K사의 패널을 선정(그림 4.3)하였다.

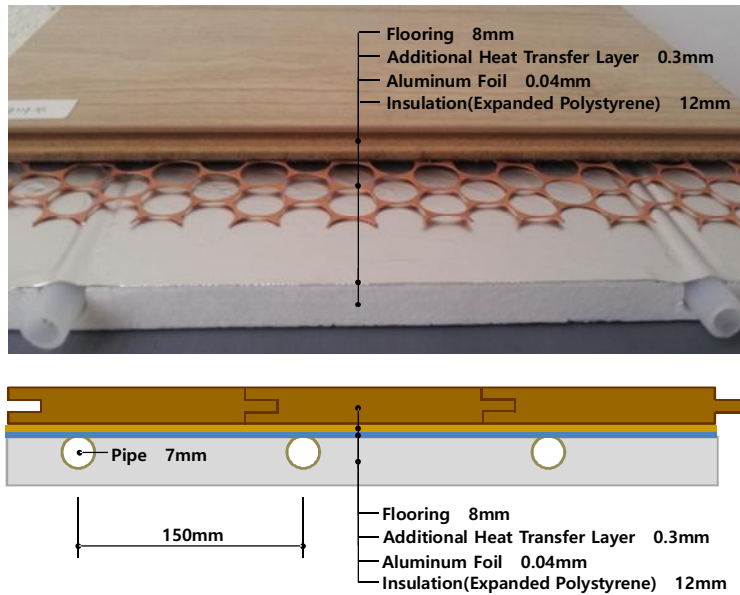


그림 4.3 건식 바닥 복사난방 패널의 형태 및 구성(K사)

표 4.8 복사패널의 열적 특성에 따른 난방운전 특성 평가조건

구 분		반영 방법 또는 입력 값	
난방부하 감소		기존 공동주택	에너지절약형 공동주택
난방운전 형태		연속운전 / 간헐운전(난방시간 : 20시~익일 08시)	
공급 온수온도(℃)		54	41
바닥 난방패널	습식	관경 15mm, 간격 200mm	관경 15mm, 간격 180mm
	건식	관경 9mm, 간격 150mm	
단열방식		내단열	

#### 4.2.1 연속운전 시 복사패널의 영향

복사패널의 열적 특성(열시정수)에 따른 난방운전 및 열적 거동 특성을 분석하기 위해, 적용 가능성을 고려한 합리적인 범위의 열시정수를

가지는 바닥 복사난방 패널을 기존 및 에너지절약형 공동주택에 적용하여 평가하였다.

표 4.9 건식 난방패널 적용 시 연속운전 중 난방운전 특성

구 분			11월	12월	1월	2월	3월	연중
기존 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	20.4	20.2	20.2	20.2	20.3	20.3
		최저 (℃)	20.1	20.1	19.9	20.0	20.1	19.9
		최고 (℃)	23.0	21.5	21.3	22.1	21.7	23.0
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	02:25	00:30	00:14	00:45	01:29	01:04
			20.2	4.3	2.0	6.3	12.4	9.0
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	실내 작용온도 평균 (℃)		21.2	21.3	21.4	21.4	21.2	21.3
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	23.0	24.2	24.7	24.4	23.3	23.9
		최저 (℃)	21.4	21.9	22.4	22.2	21.7	21.4
		최고 (℃)	25.3	26.4	26.7	26.4	25.5	26.7
	운 전	가동누적 시간(hr)	07:38	10:42	11:07	10:32	08:56	09:47
		가동-정지 횟수(회)	52	35	31	29	51	198
에너지 절약형 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	21.8	20.6	20.6	20.8	21.4	21.1
		최저 (℃)	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
		최고 (℃)	25.4	22.7	23.3	25.1	24.6	25.4
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	10:21	05:01	05:03	05:04	09:13	06:57
			86.3	41.8	42.2	42.3	76.9	58.0
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	실내 작용온도 평균 (℃)		22.1	21.1	21.2	21.4	21.8	21.5
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	22.6	22.1	22.3	22.4	22.4	22.4
		최저 (℃)	21.2	21.0	21.3	21.2	21.0	21.0
		최고 (℃)	26.1	23.8	24.6	26.2	25.6	26.2
	운 전	가동누적 시간(hr)	01:09	04:38	05:21	04:54	01:15	03:27
		가동-정지 횟수(회)	13	40	39	33	20	146

표 4.9를 통해, 기존 및 에너지절약형 공동주택에 건식 복사난방 패널을 적용하였을 때의 분석대상 실의 실내온도 분포와 설정온도 상한 및 하한을 벗어나는 기간, 바닥 표면온도 및 작용온도 분포 등의 난방운전 및 열적 거동 특성 관련 결과를 확인할 수 있다. 4.1절에 제시한 습식패널 적용 시의 주요 특성과 비교함으로써 바닥 복사난방 패널의 열적 특성이 난방 및 에너지 소비 특성에 미치는 영향을 분석하였다.

습식 바닥 복사난방 패널과 건식 바닥 복사난방 패널이 적용된 기존 및 에너지절약형 주거건물에서 외기온도가 가장 낮은 날을 중심으로 5일간의 연속운전 중 난방운전 특성을 그림 4.4에 나타내었다.

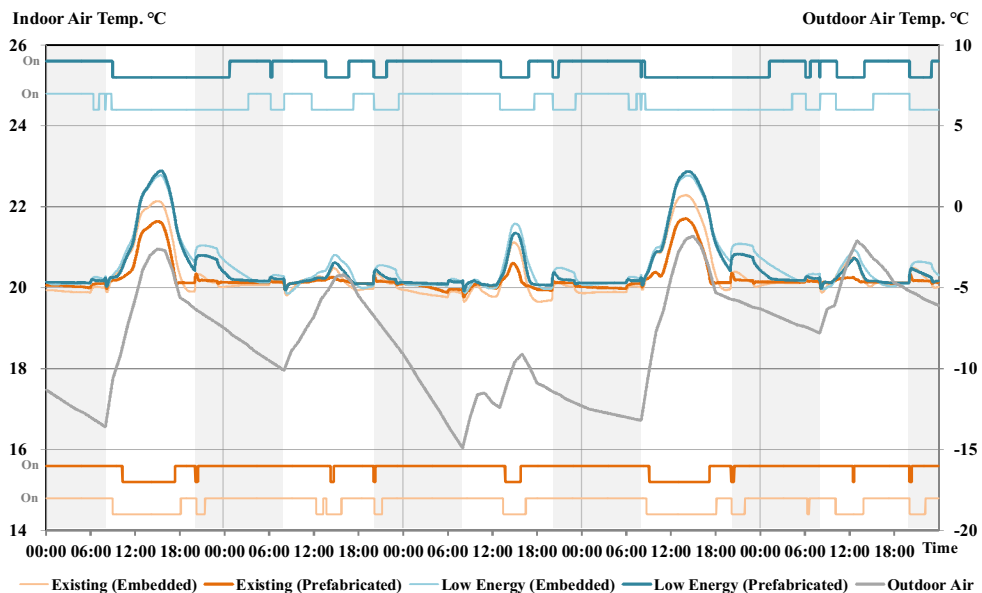


그림 4.4 연속운전 중 복사패널의 유형에 따른 난방운전 특성(1월 13일~17일)

외기온도가 낮아 최대 난방부하 조건과 유사함에도 불구하고 실내온도가 전반적으로 설정온도 범위를 유지하였다. 이는 연속운전 특성 상, 난방요구가 있을 때 즉각적인 열량의 공급이 가능했기 때문으로 판단된다.

한편, 설정온도를 기준으로 약간 높은 범위에서 실내온도가 변화하는 특징을 보이는데, 이는 최대 부하를 기준으로 한 열매의 공급으로 인해 단위시간당 요구열량에 비해 공급하는 열량이 크기 때문인 것으로 판단된다. 외기온도가 비교적 높아 난방부하가 작은 기간에는 설계조건에 비해 단위시간당 요구열량이 더 작아지므로, 설정실온을 상회하는 실내온도 분포가 더욱 두드러지게 나타났다. 이러한 특징은 전체 난방기간 동안 재실기간 중 실내 설정온도 분포와 상한 초과시간, 월별 실내온도 분포를 통해서도 확인(표4.9)된다.

외기온도가 낮음에도 불구하고 주간에는 야간에 비해 높아진 외기온도와 일사의 영향으로 난방이 중단되며, 그럼에도 불구하고 설정온도 범위 근방의 실내온도 분포를 보인다. 외기온도가 하강하고 일사의 영향이 감소하는 오후부터는 실내온도가 하강하지만, 설정범위 내에서의 실내온도 하강은 단위시간당 공급열량이 난방수요에 비해 크기 때문에 설정실온 유지에는 큰 제약으로 작용하지 않는 것으로 나타났다.

기존 공동주택에서, 외기온도가 상승하고 일사의 영향을 받는 주간에는 습식 바닥 복사난방 패널이 적용된 경우에 실내온도가 더 높게 나타난다. 이는 열용량이 상대적으로 큰 습식패널에 야간운전 중 축열된 열이 주간에 공간으로 방열되었기 때문으로 판단되며, 난방부하가 상대적으로 작은 에너지절약형 공동주택에서 동일한 조건의 주간에 실내온도가 더 높게 나타나는 것을 통해서도 확인할 수 있다.

한편, 외기온도가 하강하고 일사의 영향이 감소하는 오후에는 상승했던 실내온도가 하강하기 시작하는데, 패널의 열용량으로 인해 더 높은 실내온도를 유지했던 습식 바닥 복사난방 패널이 적용된 공간에서 난방 재가동 되는 시점이 더 늦게 나타난다. 건식패널이 적용된 경우에는 난방 재가동 이후 짧은 시간에 실내온도를 설정범위 내로 회복하였고, 열적 관성에 의한 하강 현상은 크게 나타나지 않았다. 반면 습식패널이 적용된 공간에서는 난방 재가동이 필요한 실내온도에 도달한 후 난방이 재개되어도 습식패널의 열용량으로 인한 시간지연 현상으로 실내온도가 약간 더 하강한 후 설정범위 내로 회복되는 경향을 나타냈다.

또한 설정실온 범위에 도달한 이후 야간의 운전 중에는 습식패널이 적용된 공간에서는 난방 가동 및 정지에 따른 실온 변동 폭이 건식패널이 적용된 공간에 비해 크게 나타나며, 건식패널이 적용된 공간에서는 비교적 일정한 실내온도가 유지되어 실온 변동 폭이 크지 않았다. 그러나 최대 난방부하 조건에 해당되는 외기온도 조건이었으므로, 난방부하가 비교적 큰 기존 공동주택에서 건식패널이 적용된 경우 난방운전의 지속시간이 습식패널이 적용된 경우에 비해 크게 증가하였다. 즉, 건식패널이 적용된 경우, 최대 난방부하 조건에서는 실내온도를 유지하기 위해 지속적으로 난방이 이루어져야 했으며, 난방가동-정지 현상은 습식패널이 적용된 공간에 비해 작게 나타났다.

한편, 에너지절약형 공동주택에서는 주간에는 습식 및 건식 바닥 복사난방 패널이 적용된 경우에 따른 실내온도 분포에 큰 차이를 나타내지 않았다. 이는 난방부하가 크지 않아 습식 바닥 복사난방 패널의 경우에도 야간의 난방운전 중 패널에 축열된 열의 양이 크지 않을 뿐 아니라, 처리해야 할 난방부하의 크기가 작음으로 인해 바닥 표면온도도 비교적

낮게 유지되고 있었으므로, 주간에 실내로 방열되는 열량이 습식과 건식에서 크게 차이가 나지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 비교적 작은 열량이 주간에 복사 패널로부터 공간에 공급된다 하더라도, 에너지 절약형 공동주택의 난방부하가 기본적으로 작으며 일사의 영향도 함께 받으므로 기존 공동주택에서 보다 높은 실내온도 분포를 보이고 있다.

외기온도가 하강하고 일사의 영향이 감소하는 오후가 되면 상승했던 실내온도가 하강하기 시작하는데, 공급해야 할 단위시간당 요구열량이 비교적 작기 때문에 난방이 가동되는 동안의 실내온도 분포에는 복사패널의 열적 특성이 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

표 4.10에 연속운전 중 복사난방 패널의 유형에 따른 난방운전 특성을 종합하여 정리하였다.

표 4.10 연속운전 중 복사난방 패널의 유형에 따른 영향

구 분	기존 공동주택		에너지절약형 공동주택	
	습식	건식	습식	건식
연중 평균 실내온도(℃)	20.3 (19.9~23.0)	20.3 (19.9~23.0)	21.2 (19.9~25.2)	21.1 (20.1~25.4)
설정온도 상한 초과시간	2hr 30min (21%)	1hr 04min (9%)	8hr 11min (68%)	6hr 57min (58%)
설정온도 하한 미달시간	0hr 0min (0%)	0hr 0min (0%)	0hr 0min (0%)	0hr 0min (0%)
연중 작용온도 평균(℃)	21.4	21.3	21.6	21.5
연중 바닥 표면온도(℃)	24.0 (21.5~26.5)	23.9 (21.4~26.7)	22.5 (21.2~26.1)	22.4 (21.0~26.2)
운전 누적시간	7hr 19min	9hr 47min	2hr 03min	3hr 27min

기존 공동주택과 에너지절약형 공동주택에서 복사패널의 유형에 따른 평균 실내온도는 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 실내온도 범위를 볼 때 에너지절약형 공동주택에서는 과잉 열량 공급에 의한 과열현상이 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 실내 설정온도 상한 초과 시간을 비교해 보면 더욱 확실히 드러나는데, 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서 실내 설정온도 상한을 초과하는 시간이 큰 폭으로 증가하는 것을 알 수 있다.

또한, 각 공동주택에서는 건식패널을 적용한 경우에 비해 습식패널을 적용한 경우 실내온도 설정 상한 초과시간이 약간 길게 나타나는데, 이는 습식패널의 열적 관성에 의한 시간지연으로 열량의 공급이 필요하지 않은 기간에도 공간으로 열이 공급되었기 때문인 것으로 판단된다.

실내 설정온도 하한에 미달하는 경우가 발생하지 않은 것은, 최대 난방부하 기준으로 결정된 설계 공급 온수온도와 연속운전에 의해 단위시간당 공급열량이 운전 중 부분부하 조건에서의 단위시간당 요구열량, 즉 난방수요에 비해 크기 때문인 것으로 판단된다.

기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서 실내온도와 작용온도의 편차가 작게 나타나는데, 이는 에너지절약형 공동주택에서의 부하감소로 인한 난방운전 중 바닥 표면온도의 하강이 복사 열전달 효과의 저감으로 연결되기 때문인 것으로 사료된다. 한편, 난방부하가 감소할수록 바닥 표면온도가 하강하며, 난방부하의 크기가 감소하는 에너지절약형 공동주택에서는 바닥 표면온도의 쾌적 하한에 대한 고려가 요구된다.



각 공동주택에서 습식 복사패널을 채택한 경우에 비해 건식 복사패널을 채택한 경우에 실내온도 설정 상한 초과시간이 감소하였고, 바닥 표면온도는 약간 낮게 유지되었다. 이는 바닥 복사난방 패널의 열용량에 의한 열 공급의 시간지연 현상에 의해, 열량 공급이 필요 없는 기간에도 공간으로의 열 공급이 지속되었기 때문이다. 그러나 난방설비의 운전시간은 건식패널을 적용한 경우에 증가하였다.

#### 4.2.2 간헐운전 시 복사패널의 영향

간헐운전이 적용된 기존 및 에너지절약형 공동주택에 건식 바닥 복사난방 패널을 적용하였을 때의 분석대상 실의 실내온도 분포와 설정온도 상한 및 하한을 벗어나는 기간, 바닥 표면온도 및 작용온도 분포 등 난방운전 및 열적 거동 특성 분석결과를 표 4.11에 제시하였다.

또한 간헐운전 중 바닥 복사난방 패널의 유형에 따른 난방운전 특성을 종합하면 표 4.12와 같으며, 연속운전과의 비교를 위해 표 4.10에 제시했던 연속운전 시 바닥 복사난방 패널 유형에 따른 영향도 함께 표시하였다.

기존 공동주택과 에너지절약형 공동주택에서 복사패널 유형에 따른 전체 난방기간 동안 재실기간 중 평균 실내온도와 실내온도의 최댓값은 연속운전에서와 마찬가지로 간헐운전의 경우에도 큰 차이를 보이지는 않았다. 그러나 실내온도 범위를 볼 때 에너지절약형 공동주택에서는 과잉 열량 공급에 의한 과열현상이 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

이는 실내 설정온도 상한 초과시간을 비교해 보면 더욱 확실히 드러나는 데, 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서 실내 설정온도 상한을 초과하는 시간이 큰 폭으로 증가하는 것을 알 수 있다.

표 4.11 건식 난방패널 적용 시 간헐운전 중 난방운전 특성

구 분			11월	12월	1월	2월	3월	연중
기존 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	20.3	19.8	19.5	19.8	20.2	19.9
		최저 (℃)	16.9	15.8	14.8	16.1	18.1	14.8
		최고 (℃)	23.0	21.3	21.1	22.1	21.6	23.0
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	01:49	00:15	00:09	00:42	01:09	00:49
			15.2	2.2	1.4	5.9	9.7	6.8
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:15	02:19	03:57	02:23	00:14	01:50
			2.2	19.4	33.0	20.0	2.0	15.3
	실내 작용온도 평균 (℃)		21.1	20.8	20.6	20.9	21.1	20.9
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	23.1	24.2	24.4	24.4	23.4	23.9
		최저 (℃)	19.7	19.3	18.5	19.4	20.2	18.5
		최고 (℃)	25.7	26.4	26.6	26.4	25.7	26.6
	운 전	가동누적 시간(hr)	09:01	11:25	11:45	11:09	09:55	10:39
		가동-정지 횟수(회)	37	10	3	6	33	89
에너지 절약형 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	21.7	20.5	20.5	20.7	21.4	21.0
		최저 (℃)	19.0	18.1	17.9	18.4	19.3	17.9
		최고 (℃)	25.4	22.7	23.2	25.1	24.6	25.4
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	10:05	03:47	04:07	04:34	08:42	06:15
			84.1	31.6	34.4	38.2	72.5	52.2
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:00	00:10	00:20	00:09	00:00	00:08
			0.1	1.5	2.8	1.4	0.0	1.1
	실내 작용온도 평균 (℃)		22.1	21.0	21.1	21.3	21.8	21.4
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	22.6	22.1	22.4	22.4	22.3	22.4
		최저 (℃)	20.5	19.8	19.7	20.1	20.5	19.7
		최고 (℃)	26.1	23.8	24.5	26.2	25.6	26.2
	운 전	가동누적 시간(hr)	01:33	06:23	06:57	06:32	01:43	04:37
		가동-정지 횟수(회)	11	28	24	17	21	102

또한, 각 공동주택에서는 건식패널을 적용한 경우에 비해 습식패널을 적용한 경우 실내온도 설정 상한 초과시간이 약간 길게 나타나는데, 이는 습식패널의 열적 관성에 의한 시간지연으로 열량의 공급이 필요하지 않은 기간에도 공간으로 열이 공급되었기 때문인 것으로 판단된다.

실내온도 최솟값은 연속운전에 비해 기존 및 에너지절약형 공동주택에서 크게 하강하였는데, 이는 재실하지 않는 기간 중 난방을 정지함으로 인해 설정온도 이하로 하강한 실내온도를 난방을 재가동하여 다시 설정 실내온도로 회복하는 과정에서 나타나는 현상이다. 이러한 현상은 난방 부하가 비교적 큰 기간에는 더욱 심각하게 발생하는 것으로 나타났다.

또한 각 공동주택에서 건식패널이 적용된 공간에 비해 습식패널이 적용된 공간에서 최저 실내온도의 하강 폭이 작게 나타났다. 이는 습식 패널이 적용된 경우 난방운전 중 패널에 축열 되어있던 열이 재실하지 않는 기간의 난방중단 기간 동안 패널로부터 공간으로 방열됨으로써 외기온도가 하강하고 일사의 영향이 감소하는 오후 시간대의 실내온도 하강의 폭을 감소시키는 영향으로 볼 수 있다. 이는 외기온도가 가장 낮은 기간의 난방운전 특성을 나타낸 그림 4.5를 통해서도 확인할 수 있다.

그림 4.5는 간헐운전이 적용된 기존 및 에너지절약형 공동주택에서 외기온도가 가장 낮은 날을 중심으로 5일간의 난방운전 특성을 나타낸 그래프이다. 재실하지 않는 주간에 난방운전이 정지되므로, 외기온도가 하강하며 일사량이 감소하는 오후에는 실내온도가 하강한다. 난방부하가 비교적 큰 기존 공동주택에서는 외기온도가 비교적 낮은 날에 그 하강 폭이 커서 난방중단 후 재가동 시 설정실온까지 도달하는데 많은 시간이 소요되며, 이 기간 동안에는 난방부족으로 인한 불쾌적 문제가 발생한다.

표 4.12 운전방식과 바닥 복사난방 패널 유형에 따른 영향

구 분	기존 공동주택				에너지절약형 공동주택			
	연속운전		간헐운전		연속운전		간헐운전	
	습식	건식	습식	건식	습식	건식	습식	건식
연중 평균 실내온도(℃)	20.3 (19.9~23.0)	20.3 (19.9~23.0)	19.9 (15.7~22.9)	19.9 (14.8~23.0)	21.2 (19.9~25.2)	21.1 (20.1~25.4)	21.0 (18.5~25.2)	21.0 (17.9~25.4)
설정온도 상한 초과시간	2hr 30min (21%)	1hr 04min (9%)	1hr 31min (13%)	0hr 49min (7%)	8hr 11min (68%)	6hr 57min (58%)	7hr 03min (59%)	6hr 15min (52%)
설정온도 하한 미달시간	0hr 0min (0%)	0hr 0min (0%)	2hr 23min (20%)	1hr 50min (15%)	0hr 0min (0%)	0hr 0min (0%)	0hr 07min (1%)	0hr 08min (1%)
연중 작용온도 평균(℃)	21.4	21.3	20.9	20.9	21.6	21.5	21.5	21.4
연중 바닥 표면온도(℃)	24.0 (21.5~26.5)	23.9 (21.4~26.7)	23.6 (19.9~26.2)	23.9 (18.5~26.6)	22.5 (21.2~26.1)	22.4 (21.0~26.2)	22.5 (20.3~26.0)	22.4 (19.7~26.2)
운전 누적시간	7hr 19min	9hr 47min	9hr 20min	10hr 39min	2hr 03min	3hr 27min	3hr 33min	4hr 37min

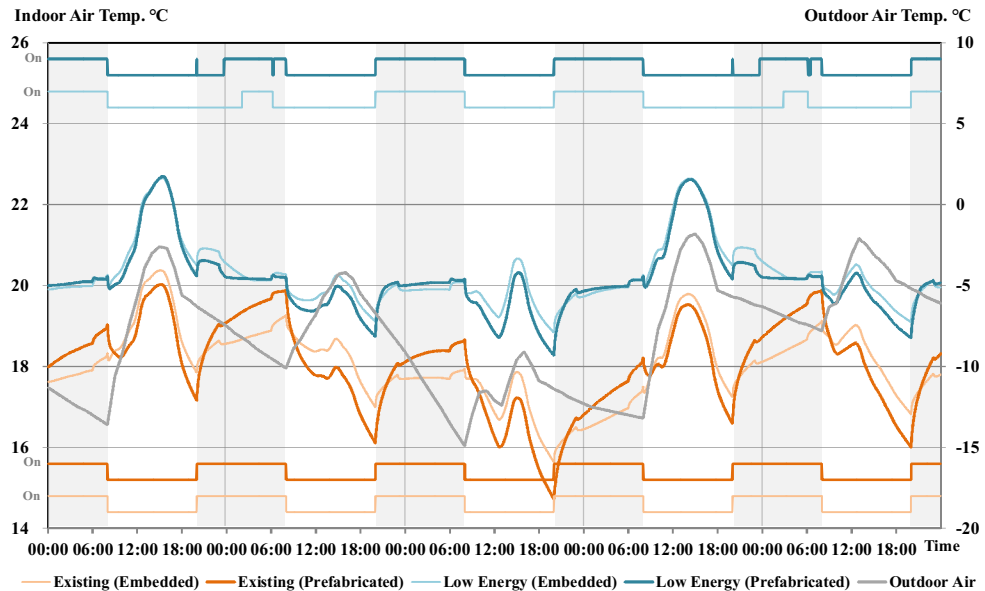


그림 4.5 간헐운전 중 복사패널 유형에 따른 난방운전 특성(1월 13일~17일)

특히 연속운전을 가정하여 난방부하를 고려한 공급 온수온도가 적용된 기존 공동주택의 경우, 외기온도가 매우 낮은 이 기간에는 재실기간 중 계속 난방을 수행함에도 불구하고 하강한 실내온도를 설정온도까지 회복시키지 못하고 있음을 그림 4.5의 그래프에서 확인할 수 있다.

반면, 에너지절약형 공동주택에서는 재실하지 않는 낮 시간에 실내온도 하강 폭이 기존 공동주택에 비해 작으며, 주간의 일사에 의해 오히려 실내온도가 설정실온을 상회하기도 한다. 오후에는 실온이 약간 하강하지만, 난방중단 후 재가동 시 비교적 빠른 시간에 설정실온을 회복했다.

그러나 난방 재가동 시 설정실온에 도달하기까지는 설정실온 하한 미달로 인해 난방부족 문제는 여전히 남아있으며, 이러한 현상은 연속운전을 가정한 난방부하를 고려한 공급 온수온도가 난방중단 후 재가동 시에는 난방수요를 충족하지 못함으로써 발생하는 것으로 판단된다.

상대적으로 외기온도가 높아 난방부하가 작은 기간에는 난방중단 중 실내온도가 소폭 하락하지만, 난방 재가동 시 설정 실온범위로 회복하는데 오랜 시간이 걸리지 않을 정도이므로 실온이 빠르게 회복되었다.

연속운전의 경우와 마찬가지로, 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서 실내온도와 작용온도의 편차가 작게 나타나며, 이는 에너지절약형 공동주택에서의 부하 감소로 인한 바닥 표면온도의 감소에 의한 것으로, 복사 열전달 효과로 인해 대류난방 방식에 비해 전반적인 열 쾌적(total human comfort)을 수월하게 달성할 수 있다는 복사난방의 일반적인 장점을 크게 활용하지 못하는 상황이 유발된다고 할 수 있다.

각 공동주택에서 습식 복사패널을 채택한 경우에 비해 건식 복사패널을 채택한 경우에 실내온도 설정 상한 초과시간이 감소하였으며, 이는 바닥 난방패널의 열용량에 의한 열 공급의 시간지연으로 인해, 열량 공급이 필요 없는 기간에도 공간으로의 열 공급이 지속되었기 때문이다. 그러나 난방설비의 운전시간은 건식패널을 적용한 경우에 증가하였다.

### 4.3 건물구조체의 열적 특성

열에너지 공급 과정에서의 영향인자인 건물구조체의 열적 특성이 난방 부하의 감소와 난방운전 중 부하변화에 따라 난방성능 및 난방운전 특성에 미치는 영향을 난방운전 형태에 따라 분석하였다.

건물구조체 또한 다양한 구성과 자재 선택이 가능하지만, 적용 가능성을 고려한 합리적인 열적 특성(열용량) 범위에서 평가하기 위해, 기존에 주로 적용되고 있는 내단열 방식의 건물외피 구성과 에너지절약형 건물에서의 열 손실 방지 강화를 위해 적용이 논의되고 있는 외단열 방식의 건물외피 구성을 평가 대안으로 선정하였다.

건물외피의 구성에 의한 영향만을 분석하기 위해, 바닥 복사난방 패널의 유형은 현재 보편적으로 사용되고 있는 습식 바닥 복사난방 패널을 적용하였으며, 표 3.6에 제시된 자료를 사용하였다.

건물외피의 총합 열관류율을 동일하게 유지하기 위해, 내단열 외피구성에서 단열층의 위치만을 변경하여 외단열 외피구성으로 적용하였다. 습식 바닥 복사난방 패널이 적용된 내단열 방식의 외피구성에 대해서는 4.1절에서 검토된 결과를 활용하였다. 주요 평가조건은 표 4.13과 같다.

표 4.13 건물구조체의 열적 특성에 따른 난방운전 특성 평가조건

구 분	반영 방법 또는 입력 값	
난방부하 감소	기존 공동주택	에너지절약형 공동주택
난방운전 형태	연속운전 / 간헐운전(난방시간 : 20시~익일 08시)	
공급 온수온도(℃)	54	41
바닥 난방패널(습식)	관경 15mm, 간격 200mm	관경 15mm, 간격 180mm
단열방식	외단열	

#### 4.3.1 연속운전 시 단열방식의 영향

건물구조체의 열적 특성(열용량)에 따른 난방운전 및 열적 거동 특성 평가를 위해, 적용 가능성을 고려한 합리적인 벽체 구성(단열방식)을 기존 및 에너지절약형 공동주택에 적용하여 평가하였다. 외단열 방식의 건물외피를 적용하여 연속운전 할 때 난방운전 특성을 표 4.14에 나타내었으며, 4.1절에 제시한 내단열 적용 시의 평가결과와 비교함으로써 건물구조체의 열적 특성(열용량)이 난방운전 및 열적 거동에 미치는 영향을 분석하였다.

또한 내단열 및 외단열이 적용된 기존 공동주택과 에너지절약형 공동주택에서 연속운전 적용 시 전체 난방기간의 재실기간 중 난방운전 특성을 표 4.15에 종합하여 나타내었다.

내단열 및 외단열이 적용된 기존 공동주택에서 연속운전 중 재실기간 중 평균 실내온도와 실내온도 범위는 매우 유사하게 나타났다. 내단열에 비해 외단열 적용 시 재실기간 중 최고 실내온도가 약간 하강하는 경향을 보이기는 했으나, 유의미한 수준은 아닌 것으로 사료된다. 이 현상은 공간내부 건물외피의 열용량에 의해 나타나는 현상으로, 공간내부의 축열 용량이 비교적 큰 외단열의 경우 난방운전 중 공간으로 공급된 열량의 일부가 공간내부의 건물외피에 축적되므로 실내온도의 상승을 약간 완화시켜 주며, 난방중단 후 실내온도가 하강할 때는 축적된 열을 배열함으로써 실내온도 하강의 폭도 완화시켜 주는 것으로 판단된다.



표 4.14 외단열 방식의 건물외피 적용 시 연속운전 중 난방운전 특성

구 분			11월	12월	1월	2월	3월	연중
기존 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	20.5	20.2	20.2	20.3	20.4	20.3
		최저 (℃)	20.0	19.8	19.8	19.7	20.0	19.7
		최고 (℃)	22.6	21.6	21.6	22.1	21.8	22.6
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	04:01	01:28	01:00	01:25	02:59	02:11
			33.5	12.3	8.4	11.9	24.9	18.2
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	실내 작용온도 평균 (℃)		21.3	21.3	21.4	21.4	21.3	21.3
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	23.0	24.2	24.6	24.4	23.3	23.9
		최저 (℃)	21.5	22.3	22.8	22.6	21.9	21.5
		최고 (℃)	25.3	26.4	26.5	26.3	25.4	26.5
	운전	가동누적 시간(hr)	05:22	08:23	09:15	08:34	06:16	07:34
		가동-정지 횟수(회)	47	46	41	44	55	233
에너지 절약형 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	21.8	20.7	20.7	20.8	21.4	21.1
		최저 (℃)	20.1	20.1	20.0	20.0	20.1	20.0
		최고 (℃)	24.7	22.4	22.8	24.3	23.9	24.7
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	10:41	06:41	06:09	06:27	10:22	08:05
			89.1	55.7	51.4	53.8	86.4	67.4
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	실내 작용온도 평균 (℃)		22.1	21.2	21.2	21.3	21.8	21.5
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	22.7	22.2	22.4	22.4	22.4	22.4
		최저 (℃)	21.4	21.1	21.4	21.3	21.2	21.1
		최고 (℃)	25.4	23.5	24.2	25.5	25.1	25.5
	운전	가동누적 시간(hr)	00:35	03:03	03:17	03:16	00:27	02:07
		가동-정지 횟수(회)	8	34	39	31	9	121

표 4.15 연속운전 중 단열방식의 영향

구 분	기존 공동주택		에너지절약형 공동주택	
	내단열	외단열	내단열	외단열
연중 평균 실내온도(℃)	20.3 (19.9~23.0)	20.3 (19.7~22.6)	21.2 (19.9~25.2)	21.1 (20.0~24.7)
설정온도 상한 초과시간	2hr 30min (21%)	2hr 11min (18%)	8hr 11min (68%)	8hr 5min (67%)
설정온도 하한 미달시간	0hr 0min (0%)	0hr 0min (0%)	0hr 0min (0%)	0hr 0min (0%)
연중 작용온도 평균(℃)	21.4	21.3	21.6	21.5
연중 바닥 표면온도(℃)	24.0 (21.5~26.5)	23.9 (21.5~26.5)	22.5 (21.2~26.1)	22.4 (21.1~25.5)
운전 누적시간	7hr 19min	7hr 34min	2hr 03min	2hr 7min

이러한 현상은 바닥 복사난방 패널에 의한 공간으로의 열 공급 과정에서 뿐 아니라 실내온도가 상승하여 난방이 중단된 낮 동안에도 적용되는데, 외단열이 적용된 경우 주간에 일사에 의해 유입된 열의 일부가 공간 내부의 건물외피에 축적되는 과정을 통해 난방운전 중일 때와 마찬가지로 실내온도의 상승을 약간 완화시켜 준다.

한편, 공간내부 건물외피에 축적된 열은 난방운전 중 실내공간으로 배열되는데, 이러한 특징으로 인해 난방운전 누적시간이 내단열 적용에 비해 약간 감소하는 것을 확인할 수 있다.

이러한 결과를 통해 볼 때, 외단열 적용에 의한 공간내부 건물외피의 열용량 증가는 내단열을 적용한 경우에 비해 과잉열량 공급에 의한 과열 현상과 온도변동 폭을 완화시켜 줄 수 있으며, 과잉 공급된 열량을 저장

함으로써 난방운전 시간을 약간 감소시킬 수 있다고 볼 수 있다. 그러나 연속운전이 적용된 경우 공간내부 건물외피가 축적하고 있는 열의 상태가 크게 변동되지 않으므로 내단열과 외단열 적용 시 차이는 유의미한 수준으로 판단하기에는 한계가 있다.

에너지절약형 공동주택에서 단열방식에 따른 난방운전 및 열적 거동 특성은 기존 공동주택에서와 유사한 형태를 나타내고 있다.

한편, 외단열 적용 시, 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서 전반적으로 실내온도가 설정온도에 비해 약간 높게 나타났으며, 설정온도 상한 초과시간도 크게 증가하였다. 이에 반해 바닥 표면온도와 난방운전 누적시간은 기존 공동주택에 비해 감소하는 경향을 보였는데, 이와 같은 현상은 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택의 설계 난방부하와 난방운전 중 단위시간당 손실열량(난방수요)이 감소하여 단위시간당 공급되는 열량이 난방수요에 비해 크기 때문인 것으로 사료된다.

이상의 내용들은 외기온도가 낮아 난방부하가 비교적 큰 기간의 난방운전 특성(그림 4.6)을 통해서 구체적으로 확인할 수 있다.

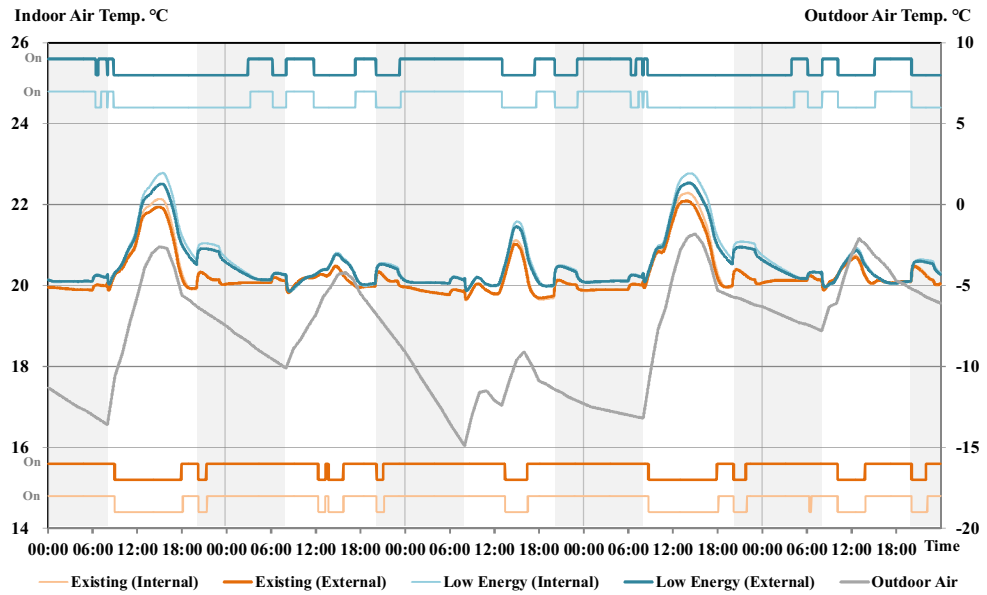


그림 4.6 연속운전 중 단열방식에 따른 난방운전 특성(1월 13일~17일)

### 4.3.2 간헐운전 시 단열방식의 영향

외단열 방식 적용 시 간헐운전 중 난방운전 특성(표 4.16)을 분석하였다.

표 4.16 외단열 방식의 건물외피 적용 시 간헐운전 중 난방운전 특성

구 분			11월	12월	1월	2월	3월	연중
기존 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	20.4	19.8	19.3	19.8	20.3	19.9
		최저 (℃)	18.1	17.4	16.0	17.6	18.9	16.0
		최고 (℃)	22.6	21.6	21.4	22.1	21.8	22.6
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	02:51	00:43	00:17	00:56	02:05	01:22
			23.8	6.0	2.4	7.8	17.4	11.5
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:15	03:06	04:58	03:03	00:04	02:17
			2.1	26.0	41.5	25.4	0.6	19.1
	실내 작용온도 평균 (℃)		21.2	20.8	20.5	20.9	21.2	20.9
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	23.0	23.9	23.9	24.0	23.3	23.6
		최저 (℃)	20.9	20.8	20.2	21.1	21.0	20.2
		최고 (℃)	25.5	26.1	26.3	26.1	25.4	26.3
	운 전	가동누적 시간(hr)	06:55	10:41	11:24	10:34	07:56	09:30
		가동-정지 횟수(회)	40	17	10	13	42	122
에너지 절약형 공동주택	실내 온도	평균 (℃)	21.7	20.5	20.5	20.7	21.4	21.0
		최저 (℃)	19.5	18.8	18.7	19.0	19.7	18.7
		최고 (℃)	24.7	22.3	22.7	24.3	23.9	24.7
		상한(20.5℃) 초과 시간(hr)/비율(%)	10:21	05:13	04:37	04:58	10:01	07:03
			86.3	43.5	38.5	41.4	83.5	58.8
		하한(19.5℃) 미달 시간(hr)/비율(%)	00:00	00:05	00:10	00:02	00:00	00:03
			0.0	0.7	1.5	0.4	0.0	0.5
	실내 작용온도 평균 (℃)		22.1	21.0	21.1	21.2	21.8	21.4
	바닥 표면 온도	평균 (℃)	22.7	22.1	22.3	22.4	22.4	22.4
		최저 (℃)	20.9	20.4	20.4	20.8	20.8	20.4
		최고 (℃)	25.4	23.5	24.1	25.5	25.1	25.5
	운 전	가동누적 시간(hr)	01:00	04:53	05:44	05:09	00:47	03:30
		가동-정지 횟수(회)	7	26	30	20	13	97

내단열 및 외단열이 적용된 기존 공동주택과 에너지절약형 공동주택에서 전체 난방기간의 재실기간 중 단열방식에 따른 난방운전 특성을 표 4.17에 종합하여 나타내었다. 연속운전과의 비교를 위해 표 4.15에 제시했던 연속운전 시 외단열 적용에 따른 영향도 함께 표시하였다.

내단열 및 외단열이 적용된 기존 공동주택에서 간헐운전 시 난방기간의 재실기간 중 연중 평균 실내온도와 실내온도 범위는 매우 유사하게 나타났다. 내단열에 비해 외단열 적용 시 재실기간 중 최고 실내온도가 약간 하강하고 최저 실내온도는 약간 상승하는 경향을 보이기는 했으나, 유의미한 수준은 아닌 것으로 사료된다. 이러한 난방운전 및 열적 거동 특성은 연속운전에서와 동일하게 공간내부 건물외피의 열용량에 의해 나타나는 현상으로 사료된다. 뿐만 아니라 난방운전 누적시간에 관련한 경향도 연속운전에서와 동일하게 나타났으며, 결과적으로 내단열 및 외단열 적용에 의한 난방운전 및 열적 거동 특성은 연속운전의 경우와 동일한 형태를 보이고 있는 것을 확인할 수 있다.

또한 에너지절약형 공동주택에서 단열방식에 따른 난방운전 및 열적 거동 특성은 기존 공동주택에서와 유사한 형태를 나타내고 있다.

한편, 연속운전 중에서도 마찬가지로, 외단열 적용 시 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서 전반적으로 실내온도가 설정온도에 비해 약간 높게 나타났으며, 설정온도 상한 초과시간도 크게 증가하였다. 이에 반해 바닥 표면온도와 난방운전 누적시간은 기존 공동주택에 비해 감소하는 경향을 보였는데, 이와 같은 현상은 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택의 설계 난방부하와 운전 중 단위시간당 손실열량이 감소하여 단위시간당 공급열량이 난방수요에 비해 크기 때문인 것으로 사료된다.

표 4.17 간헐운전 중 단열방식의 영향

구 분	기존 공동주택			에너지절약형 공동주택		
	연속운전	간헐운전		연속운전	간헐운전	
	외단열	내단열	외단열	외단열	내단열	외단열
연중 평균 실내온도(℃)	20.3 (19.7~22.6)	19.9 (15.7~22.9)	19.9 (16.0~22.6)	21.1 (20.0~24.7)	21.0 (18.5~25.2)	21.0 (18.7~24.7)
설정온도 상한 초과시간	2hr 11min (18%)	1hr 31min (13%)	1hr 22min (12%)	8hr 5min (67%)	7hr 03min (59%)	7hr 03min (59%)
설정온도 하한 미달시간	0hr 0min (0%)	2hr 23min (20%)	2hr 17min (19%)	0hr 0min (0%)	0hr 07min (1%)	0hr 3min (1%)
연중 작용온도 평균(℃)	21.3	20.9	20.9	21.5	21.5	21.4
연중 바닥 표면온도(℃)	23.9 (21.5~26.5)	23.6 (19.9~26.2)	23.6 (20.2~26.3)	22.4 (21.1~25.5)	22.5 (20.3~26.0)	22.4 (20.4~25.5)
운전 누적시간	7hr 34min	9hr 20min	9hr 30min	2hr 7min	3hr 33min	3hr 30min

이상의 내용들은 외기온도가 낮아 난방부하가 비교적 큰 기간의 난방 운전 특성(그림 4.7)을 통해서 구체적으로 확인할 수 있다.

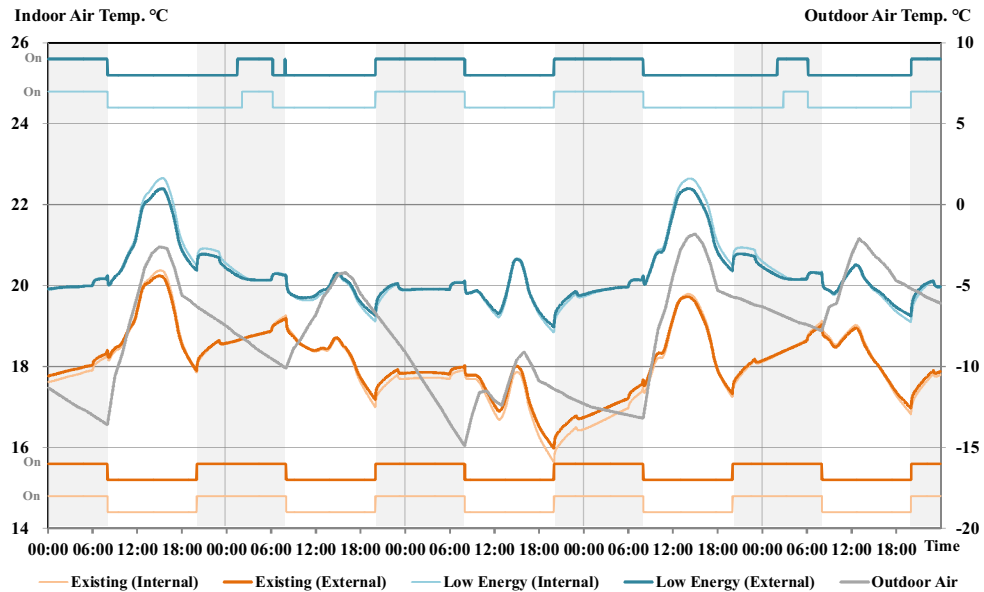


그림 4.7 간헐운전 중 단열방식에 따른 난방운전 특성(1월 13일~17일)

그림 4.7은 내단열 및 외단열이 적용된 기존 및 에너지절약형 공동주택에서 외기온도가 가장 낮은 기간의 간헐운전 중 난방운전 및 열적 거동 특성을 나타낸 그래프이다. 내단열과 외단열 적용에 의한 차이는 위에서 분석한 내용을 뒷받침하는 내용으로 각 공동주택별로 유사한 패턴을 보이고 있다. 한편, 난방부하 크기(기존 및 에너지절약형 공동주택)에 따른 간헐운전 방식에서의 특징이 강하게 드러나는데, 간헐운전 방식에 의한 이러한 특징은 내단열 및 습식 바닥 복사난방 패널이 적용된 경우의 간헐운전 분석에 대한 이전의 분석(4.1절 및 4.2절)과 동일한 특징을 나타내고 있다.



## 4.4 소결

최대 난방부하 감소와 운전 중 난방수요 변화에 따른 난방운전 특징을 분석하고 난방수요 대응을 위한 요구조건과 성능을 도출하기 위해, 기존 및 에너지절약형 공동주택을 대상으로 운전방식(연속운전, 간헐운전)에 따라 공급 온수온도·난방패널의 열적 특성·건물구조체의 열적 특성이 난방운전 및 열적 거동에 미치는 영향을 분석하였다.

(1) 연속운전 시, 공급 온수온도에 따른 실내온도 분포는 거의 유사하였으나, 전반적으로 설정실온에 비해 높은 분포를 보였다. 이는 설계 공급 온수온도 산정 특성 상, 단위시간당 요구열량에 비해 단위시간당 공급열량이 큰 것과 습식 난방패널의 열적 관성에 의한 결과이다.

이러한 현상은 난방부하 크기가 작은 에너지절약형 공동주택에서 두드러지게 나타나는데 대부분의 구간에서 과잉열량 공급에 의한 과열현상이 발생하였다. 그러나 난방부하 크기가 작기 때문에 바닥 표면온도가 비교적 낮게 유지되었으며, 작용온도와 실내온도와의 편차는 감소하여 바닥 복사난방의 복사 열전달에 의한 장점은 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 전체 난방운전 시간은 기존 공동주택에 비해 크게 감소하였다.

한편, 난방부하를 고려한 공급 온수온도 적용 시, 관행적 공급 온수온도 적용 시에 비해 단위시간당 공급열량의 소폭 감소함으로 인해 과열현상은 감소하였으나, 난방운전 시간은 증가하였다.

(2) 간헐운전 시, 평균 실내온도와 최대 실내온도는 공급 온수온도 조건이 바뀌어도 유사하게 나타났으며, 연속운전의 경우와도 유사했다. 그러나 최저 실내온도는 연속운전에 비해 크게 하강하였는데, 난방중단 이

후 재가동 시 실내 설정온도까지 회복하는 과정에서 나타나는 현상으로 연속운전을 가정한 공급 온수온도 적용에 의한 결과로 판단된다.

이러한 현상은 난방부하가 비교적 큰 기존 공동주택에서 두드러지게 나타나며, 난방부하에 근거한 공급 온수온도를 적용했을 때 그 하강 폭은 더 큰 반면, 난방부하가 비교적 작은 에너지절약형 공동주택에서는 난방중단 시 실내온도 하강 폭이 크지 않아 실내온도 변동 폭이 상대적으로 작게 나타났다.

한편, 간헐난방 적용 시 연속운전에 비해 난방운전 시간이 증가하였으며, 이는 난방중단 이후 재가동 시 설정 실내온도까지 실내온도를 회복하는 과정에서의 운전이 증가했기 때문이며, 난방부하를 고려한 경우는 관행적 적용의 경우에 비해서도 증가했다.

(3) 연속운전 시, 복사패널의 열적 특성(패널 유형)에 따른 실내온도 분포, 바닥 표면온도 분포, 적용온도 분포를 비롯한 난방운전 및 열적 거동 특성은 공급 온수온도 조건에 따른 영향평가 결과와 유사한 양상을 보였다. 이는 최대 난방부하를 기준으로 한 설계 공급 온수온도의 영향이 난방부하 처리 과정에서 복사패널의 열적 특성에 의한 영향보다 강하게 나타나기 때문인 것으로 판단된다.

그러나 복사패널의 열적 특성에 따라 구체적인 분포는 차이를 보이고 있으며, 습식패널 적용 시 난방운전 중 패널에 축적되었던 열이 난방중단 중에 공간으로 배열됨으로 인해 건식패널 적용 시에 비해 난방운전 누적시간이 약간 작게 나타났다.

(4) 간헐운전의 경우에도 공급 온수온도 조건에 의한 난방운전 특성과 동일한 양상을 보였다. 간헐운전 중 난방이 중지될 때 실내온도가 하강하

는 폭은 건식패널을 적용했을 때 더 크게 나타났으며, 이는 바닥 복사난방 패널의 열용량과 열저항 차이에서 기인하는 것으로 사료된다. 또한 난방 패널의 열용량에 의한 흡열과 발열 특성으로 인해, 건식패널을 적용한 경우 습식패널이 적용된 경우에 비해 난방운전 누적시간이 크게 나타났다.

(5) 연속운전 중인 기존 및 에너지절약형 공동주택에서 내단열에 비해 외단열 적용 시 실내온도 변동 폭이 약간 감소하였다. 이는 공간내부 건물외피 열용량의 영향으로, 일사 또는 바닥 복사난방 패널로부터 많은 열량이 공간으로 유입될 때 건물외피에 열을 축적하고, 실내온도가 하강할 때 축적된 열을 공간으로 배열하는 과정에 의한 결과이다.

이러한 특징은 외단열 적용 시 과잉열량 공급에 의한 과열현상과 실온 변동 편차를 완화시켜주며, 단위시간당 공급열량이 난방수요를 초과할 때 저장했다가 필요할 때 배열되는 과정을 통해 난방운전 시간을 약간 감소시킬 수 있다.

(6) 간헐운전이 적용된 경우, 연속운전이 적용된 경우와 유사한 난방운전 및 열적 거동 특성을 나타냈다. 그러나 기존 공동주택과 에너지절약형 공동주택에서 난방부하 크기 차이로 인한 특징은 확연하게 드러나는데, 이러한 특징은 습식 바닥 복사난방 패널과 내단열이 적용된 경우의 특징과 동일하다.

---

## 제 5 장 Hydronic Thermal Energy System의 난방수요 대응방안

- 5.1 기존 공동주택에서의 난방수요 대응 요구
  - 5.2 에너지절약형 공동주택에서의 난방수요 대응 요구
  - 5.3 난방설비 대안 - Hydronic Thermal Energy System
  - 5.4 소결
- 

난방수요 변화와 이에 대한 난방설비 대응 관련 영향인자에 의한 난방운전 및 열적 거동 분석 결과(4장)와 에너지 소비 특성 분석을 바탕으로, 난방 및 에너지 성능 개선을 위해 난방설비 대안에 요구되는 조건을 도출하였다. 또한 이 요구조건을 충족시키며 기존 및 에너지절약형 주거건물에 적용 가능한 난방설비 구성 및 대응방안을 정성적 분석을 통해 제안하였다.

최대 난방부하 감소와 운전 중 난방수요 변화를 반영한 분석과정(4장)과 같은 방법을 적용하여, 기존 공동주택과 에너지절약형 공동주택에서 연속운전 및 간헐운전을 채택하는 경우로 세분하여 분석하였다. 각 세부 영역별로 공급 온수온도, 바닥 복사난방 패널의 열적 특성(패널 유형에 따른 열시정수) 및 건물구조체의 열적 특성(단열방식에 따른 열용량)에 의한 난방운전 및 열적 거동, 에너지 소비 특성을 바탕으로, 난방수요 대응을 고려한 난방설비 대안으로써의 Hydronic Thermal Energy System 구성과 대응을 위한 요구조건을 도출하였다.

## 5.1 기존 공동주택에서의 난방수요 대응 요구

기존 공동주택에서 공급 온수온도, 바닥 복사난방 패널의 열적 특성(열시정수), 건물구조체의 열적 특성(열용량)에 의한 난방수요 변화 및 대응을 고려하여 난방 및 에너지 성능을 개선하기 위한 난방설비 요구조건을 연속운전 및 간헐운전 적용 시로 구분하여 분석하였다.

### 5.1.1 연속운전을 고려한 설비 대응

#### (1) 공급 온수온도

연속운전의 경우 난방수요는 외기조건과 내부발열에 의해서 변화하는데, 내부발열은 난방부하를 저감시키는 요소이므로, 외기온도가 가장 낮을 때 가장 큰 난방수요가 발생한다고 볼 수 있다. 또한 공급 온수온도의 결정은 최대 난방부하를 기준으로 산정하게 되므로, 연속운전 중 가장 큰 난방수요가 발생하는 조건에서도 난방부하를 고려한 공급 온수온도는 난방수요에 충분히 대응할 수 있다.

그러나 과거의 난방부하와 주거건물의 건축적 특성을 기준으로 산정되었던 공급 온수온도를 그대로 적용하는 현재의 관행은 현행 공동주택의 최대 난방부하에 비하여 높은 온도이며, 이는 대부분의 부분부하 조건뿐 아니라 최대 난방부하 조건에서도 단위시간당 요구열량에 비해 큰 열량을 공급하는 현상을 초래한다.

이러한 이유로 인해, 연속운전을 적용하는 기존 공동주택에서 관행적 공급 온수온도로 바닥 복사난방 패널에 난방온수를 공급할 때, 재실기간

중 실내온도가 설정온도에 비해 전반적으로 높게 나타났으며, 설정온도 범위 이하로 하강하는 경우는 발생하지 않았다.

관행적 공급 온수온도 조건은 연속운전 중 대부분의 난방기간에 요구되는 단위시간당 열량에 비해 큰 열량을 공급하는 조건이므로, 과잉열량 공급으로 인한 과열현상을 유발하고 있으며 불필요한 열량의 공급으로 에너지 낭비를 초래하고 있다.

난방부하를 고려하여 산정한 공급 온수온도를 적용한 연속운전의 경우, 관행적 공급 온수온도에 비해 낮은 온도의 난방온수를 공급했음에도 불구하고 재실기간 중 실내온도 분포는 관행적 공급 온수온도를 적용한 경우와 유사했다. 공급 온수온도 조건이 달라졌음에도 불구하고 유사한 실내온도 분포를 보이는 것은 설정 실내온도 상한을 초과하면 난방이 정지되고 하한 이하로 하강하면 다시 가동되는 난방운전(on/off) 특성에 의한 결과이다. 또한 대부분의 난방운전이 부분부하 조건에서 이루어지는 것을 감안할 때, 최대 난방부하를 기준으로 산정된 공급 온수온도 조건은 단위시간당 요구열량보다 큰 열량이 공급될 가능성을 항상 내포하고 있음을 의미한다.

연속운전 적용 시, 관행적 공급 온수온도를 적용할 때에 비해 난방부하를 고려한 공급 온수온도를 적용할 때에 설정 실내온도 상한 초과시간이 약 15% 정도 감소하였으며, 이 결과로부터 실제 난방부하를 처리하기 위해 요구되는 온수온도에 근접한 온도의 온수를 공급할수록 과잉열량 공급에 의한 과열현상이 감소하는 것을 알 수 있다. 이 경우, 운전 누적시간은 약간 증가하지만 전체 난방에너지 소비는 약간 감소하였다. 따라서 난방쾌적 및 에너지 성능 측면에서 난방부하를 고려한 공급 온수온도가 적용되는 것이 유리함을 알 수 있다.

그러나 난방부하를 고려한 온도의 난방온수를 공급하는 경우에도 난방 설비가 운전 중 직면하는 대부분의 부분부하 조건에서는 단위시간당 요구열량에 비해 큰 열량이 공급될 가능성을 항상 내포하고 있으므로, 난방패적 및 에너지 성능 개선을 위해 난방수요에 따라 단위시간당 공급열량을 조절하여 공급하는 방안이 요구된다.

특히, 연속운전의 경우 외기온도에 의한 난방수요 변화가 지배적이므로, 외기온도 변화를 고려한 공급열량 조건이 반영될 수 있는 난방설비 구성 및 운전이 난방 및 에너지 성능 개선에 유리할 것으로 판단된다.

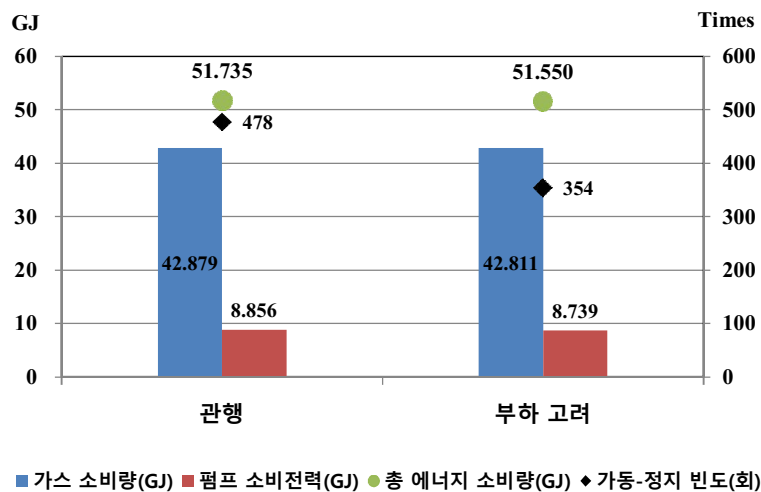


그림 5.1 연속운전 중 공급 온수온도에 따른 난방에너지 소비(기준)

## (2) 바닥 복사난방 패널의 열적 특성

건식 바닥 복사난방 패널이 적용된 기존 공동주택에서, 연속운전 중 채실기간의 실내온도는 전반적으로 설정실온에 비해 높은 분포를 보였으

며, 습식 복사패널을 적용한 경우와 매우 유사한 경향을 나타냈다. 그러나 건식패널이 적용된 경우에는 설정 실내온도 상한을 초과하는 시간이 습식패널에 비해 57% 감소하였는데, 이는 난방운전 중 열용량이 큰 습식패널에 축적되었던 열이 난방중단 후에도 공간으로 배열되어 발생하는 과열현상에 의한 결과이다. 한편 이러한 현상으로 인해 습식패널이 적용된 경우의 난방운전 시간은 건식패널이 적용된 경우에 비해 25% 작게 나타났다. 그러나 난방에너지 소비량은 습식패널을 적용했을 때에 비해 건식패널을 적용했을 때가 2% 정도 작게 나타나고 있으며, 이는 습식패널의 열적 관성에 의한 불필요한 열량의 공급으로 인해, 과열현상 뿐 아니라 불필요한 에너지의 소비도 발생하기 때문인 것으로 사료된다.

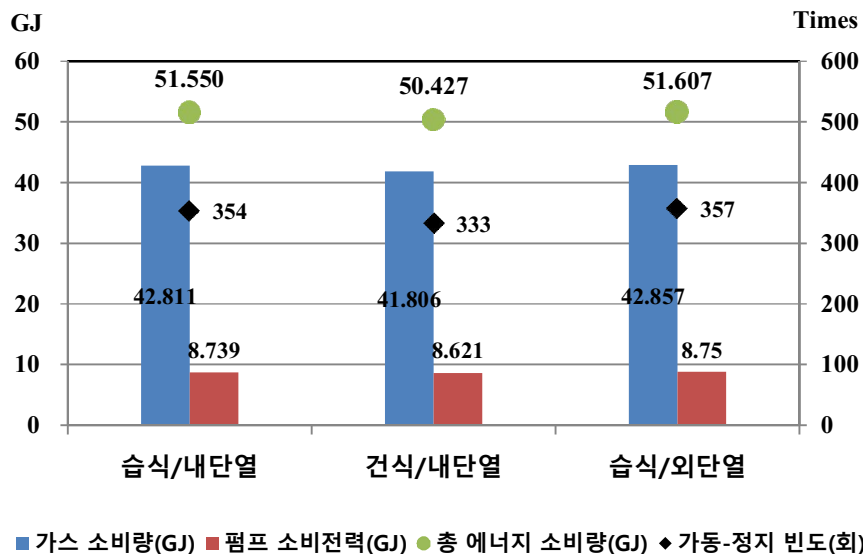


그림 5.2 연속운전 중 패널유형 및 단열방식에 따른 난방에너지 소비(기준)

한편, ‘단위시간당 공급열량’ 개념의 난방설비 대응은 공급되는 열량의 크기와 공급시간 및 시기가 함께 고려되어야 하는 개념이며, 열에너지



전달 과정에서 난방수요에 대한 난방설비의 대응에 영향을 미치는 인자로 바닥 복사난방 패넌의 열적 특성을 선정(3장)하였다. 따라서 바닥 복사난방 패넌의 열적 특성은 공급되는 열량의 크기와 공급시간 및 시기가 고려되는 인자의 물성 값을 통해 정량적으로 분석될 수 있다.

3.1절의 분석결과로부터, 바닥 복사난방 패넌에서 공급열량(방열량)의 크기에 영향을 미치는 물리적 변수로 열전도율 또는 열저항을 고려할 수 있으며, 열량의 공급시간 및 시기에 관하여는 비정상상태에서의 열량공급과 관련된 물리적 변수인 열용량을 고려할 수 있음을 확인하였다. 또한 실제 난방운전 과정에서 난방설비 대응은 이 두 인자를 독립적으로 분리하여 생각할 수 없으므로, 열전달층의 열전도율 또는 열저항과 열용량을 동시에 고려하는 열시정수(식 3.3)를 난방설비 대응에 영향을 미치는 바닥 복사난방 패넌의 열적 특성 관련 인자로 선정하였다.

4장에서는 바닥 복사난방 패넌의 열적 특성으로써의 열시정수에 대한 합리적인 평가범위를 반영하기 위해, 적용 가능성을 고려하여 복사난방 패넌의 유형을 기존 습식패넌과 건식패넌로 구분하여 평가하고 그 결과를 제시하였다. 그러나 본 장에서는 난방설비 대안의 요구조건 도출을 위해, 특정 패넌유형이 아닌 열시정수 범위로 환원하여 일반적이고 정량적인 영향정도를 분석하였다. 이를 위해 4장의 평가과정에서 사용된 습식패넌과 건식패넌에 공통적으로 적용된 자재가 아닌, 대표적인 차이를 보이는 구성자재의 열시정수를 식 3.3을 이용하여 계산(표 5.1) 하였다.

계산결과에 의하면 현재 일반적으로 적용되는 습식패넌은 건식패넌에 비해 시정수가 약 3,086 정도 크게 나타났다. 이 결과를 그림 5.2의 내단열 적용 시 바닥 복사난방 패넌 유형에 따른 에너지 소비량과 난방운전의 가동 빈도에 적용하면, 단위 열시정수 증가 시 연간 약 364 kJ의 난

방에너지 소비가 증가하며, 약 147 정도의 열시정수 증가 시 난방운전의 가동-정지 횟수가 추가되는 것을 알 수 있다.

표 5.1 습식 및 건식난방 패널의 열시정수

구 분	자 재	열전도율 W/mK	열저항 m <sup>2</sup> K/W	열용량 J/m <sup>2</sup> K	열시정수 s
습식패널	시멘트모르타르 (50mm)	1.4	0.036	86,400	3,086
건식패널	Al 열전도판 (0.5mm)	238	0.0000021	11,687	0.025

이상의 결과로부터, 비교적 난방부하가 큰 기존 공동주택에서 연속운전 난방을 수행할 때, 바닥 복사패널의 큰 열시정수로 인해 복사패널로부터의 열전달 시간 지연과 축열 특성이 강하게 나타날수록 난방에너지 소비가 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 난방 및 에너지 성능 개선을 위해 열량의 공급과 중단, 즉 열량공급의 단속(斷續)이 용이한 비교적 작은 열시정수를 갖는 복사패널의 활용이 요구됨을 확인할 수 있다. 또한 습식패널과 같이 열용량과 열시정수가 큰 경우에는, 난방중단 시 패널이 보유하고 있는 열량이 공간으로 배열되지 않도록 저장하였다가 필요 시 배열하도록 조절할 수 있는 방안도 난방 및 에너지 성능 개선을 위해 가능한 대안이라 판단된다.

### (3) 건물구조체의 열적 특성

외단열이 적용된 기존 공동주택에서, 연속운전 중 재실기간의 실내온도는 전반적으로 설정실온에 비해 높은 분포를 보였으며, 내단열을 적용한 경우와 매우 유사한 경향을 나타냈다. 그러나 외단열이 적용된 경우

설정실온 상한 초과시간이 내단열을 적용한 경우에 비해 13% 감소하였다. 이는 외단열 적용 시 난방운전 중 공간에 유입된 열의 일부가 건물외피에 축적되었다가, 난방이 중단된 후에 공간으로 배열됨으로 인한 열적 완충(thermal buffer) 효과에 의한 결과이다. 그러나 건물외피의 열 축적은 난방운전 시 불필요한 열의 공급을 유발하며, 이로 인해 난방운전 시간 증가와 에너지 소비 증가 현상이 나타났다. 그림 5.2를 통해 외단열을 적용한 경우 내단열이 적용된 경우에 비해 난방에너지 소비와 난방운전 누적 시간이 모두 1% 정도 증가하는 것을 알 수 있다.

기존 공동주택의 건물외피 구성과 물성을 고려한 외단열 적용 시 난방운전 및 열적 거동은 기존 내단열 방식에 비해 큰 차이를 보이지는 않았지만, 난방공간의 과열 및 과냉 측면에서는 최고 및 최저 실내온도를  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  정도 완화하는 효과를 보였으며, 반면 난방에너지 소비 측면에서는 전체 난방에너지 소비량 기준 1% 정도의 상승효과를 나타냈다.

한편, 내부공간의 열에너지를 흡수 및 배열함으로써 난방공간의 열적 거동에 영향을 미치는 인자로 건물구조체의 열적 특성을 선정(3장)하였다. 3.1절의 분석결과로부터, 난방공간의 열에너지 흡수 및 배열 관련 중요 물리적 변수로 건물구조체의 열용량을 고려할 수 있음을 확인하였다. 4장에서는 건물구조체의 열적 특성으로써의 건물구조체 열용량에 대한 합리적인 평가범위를 반영하기 위해, 적용 가능성을 고려하여 건물의 단열방식을 내단열과 외단열로 구분하여 평가하였다. 그러나 본 장에서는 난방설비 대안의 요구조건 도출을 위해, 열용량의 크기로 변수를 환원하여 일반적이고 정량적인 영향정도를 분석하였다. 이를 위해 4장의 평가과정에서 사용된 내단열과 외단열 적용 시 난방공간의 열에너지 흡수 및

배열에 직접적인 영향을 미친다고 볼 수 있는 자재, 즉 단열재를 기준으로 공간 내부 측으로 시공된 자재의 열용량을 파악(표 5.2)하였다.

표 5.2 내단열 및 외단열 적용 시 단열재 기준 내측 자재의 열용량

구 분		단위면적당 열용량 J/m <sup>2</sup> K
내단열	석고보드	85,456
외단열	석고보드	85,456
	콘크리트	3,386,880
	합 계	3,472,336

외단열의 경우, 난방공간의 열에너지 흡수 및 배열에 직접적인 영향을 주는 자재의 열용량이 내단열에 비해 약 40배 정도, 즉 3,386,880 J/m<sup>2</sup>K 더 큰 것으로 나타났다. 이 결과를 그림 5.2의 습식패널 적용 시 단열방식에 따른 에너지 소비와 난방설비의 가동 빈도에 적용하면, 일반적으로 적용되는 내단열에 비해 내부공간의 열용량이 100% 증가할 때 난방에너지 소비는 연간 약 1,425 kJ 증가하고, 약 1,330%의 열용량 증가 시 난방의 정지-가동 횟수가 추가되는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터, 비교적 난방부하가 큰 기존 공동주택에서 연속운전 난방 시, 비교적 큰 열용량의 공간 내부 측 자재에 의해 내부공간의 열에너지 흡수 및 배열이 크고 완만하게 발생할수록 난방에너지 소비가 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 공간 내부 측 자재의 열용량이 클수록 실내온도 변동 폭은 감소하여 열 쾌적 측면에서는 유리하므로, 연속운전 중 건물외피 단열방식과 관련된 요구는 난방운전 중 달성하고자 하는 주요 목적에 따라 달리 판단될 수 있다고 사료된다.

## 5.1.2 간헐운전을 고려한 설비 대응

### (1) 공급 온수온도

간헐운전의 경우 난방수요는 외기조건과 내부발열 뿐 아니라 재실하지 않는 기간의 난방중단 후 재가동 시점에서의 실내온도에 따른 예열부하에도 영향을 받는다. 그러므로 연속운전을 고려한 난방부하에 근거하여 산정된 공급 온수온도는 재실하지 않는 기간의 난방중단 후 재가동 시점에서는 단위시간당 요구열량을 만족시키지 못하게 된다.

따라서 난방중단 후 재가동 시, 실내온도가 설정 값까지 회복되는 기간에 난방부족 현상이 발생하며, 이러한 현상은 난방부하에 비해 높은 관행적 공급 온수온도를 적용하는 경우에도 발생한다. 그러나 비교적 높은 관행적 공급 온수온도를 적용했을 때는 난방부하를 고려한 공급 온수온도를 적용할 때에 비해 단위시간당 공급열량이 크기 때문에 난방중단 후 재가동 시의 높은 요구열량과의 차이가 상대적으로 작으며, 이로 인해 재실기간 중 설정온도 하한 미달시간이 난방부하를 고려한 공급 온수온도 대비 72% 작게 나타났다. 그러므로 간헐운전 채택 시, 난방중단 후 재가동 시의 예열부하를 고려한 높은 공급 온수온도의 적용이 필요하다.

그러나 난방 재가동 이후 실내온도의 설정 값 도달 후에는 연속운전과 동일한 난방수요 조건이 유지되므로, 이 기간에는 연속운전 시 공급 온수온도에 따른 난방운전 및 열적 거동과 동일한 현상이 발생한다. 즉, 난방부하에 비해 불필요하게 높은 온도의 난방온수 공급으로 인해 대부분의 부분부하 조건에서 단위시간당 요구열량에 비해 큰 열량을 공급하게 되며, 과잉열량 공급으로 인한 과열현상이 발생되고 있다. 이러한 이유

때문에, 비교적 높은 관행적 공급 온수온도를 적용했을 때의 재실기간 중 설정실온 상한 초과시간이 난방부하를 고려한 공급 온수온도 대비 1% 크게 나타난다. 그러므로 간헐운전이 채택된 경우, 설정실온 도달 후에는 난방부하를 고려한 낮은 공급 온수온도 적용이 필요하다.

한편, 난방수요에 비해 많은 열량이 공급되는 경우 난방중단 이후 실내온도 하강 폭이 감소하는데, 이로 인해 재실기간 중 최저 실내온도는 난방부하를 고려한 공급 온수온도를 적용한 경우에 더 낮게 나타난다. 그러므로 난방중단 시 재가동 시점의 난방부족을 고려하여 실내온도의 하강 폭을 제한하는 운전도 필요하다고 판단된다.

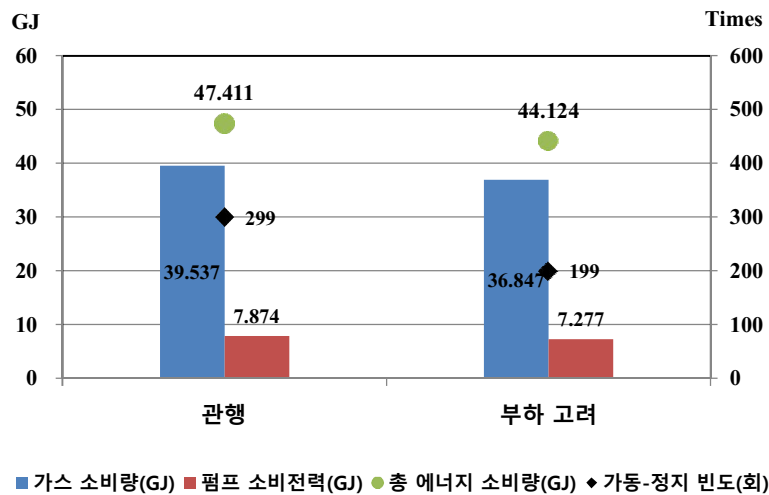


그림 5.3 간헐운전 중 공급 온수온도에 따른 난방에너지 소비(기준)

관행적 공급 온수온도를 적용할 때에 비해 난방부하를 고려한 공급 온수온도를 적용할 때에 전체 에너지 소비량은 7% 감소했다. 따라서 간헐운전 적용 시 에너지 성능 측면에서 난방부하를 고려한 공급 온수온도가

적용되는 것이 유리함을 알 수 있다.

그러나 간헐운전의 경우 난방중단 후 재가동 시점의 난방성능 및 쾌적  
을 위해서는 연속운전을 가정한 설계 공급 온수온도보다 높은 공급 온수  
온도, 즉 설계조건에 비해 큰 단위시간당 공급열량을 공급할 필요가 있다.

또한, 기존 공동주택에서 연속운전을 적용한 경우에 비해 간헐운전을  
적용한 경우, 관행적 공급 온수온도 적용 시 8%, 난방부하를 고려한 공  
급 온수온도 적용 시 14%의 난방에너지 저감 효과가 있었다.

## (2) 바닥 복사난방 패널의 열적 특성

건식 바닥 복사난방 패널이 적용된 기존 공동주택에서, 간헐운전 중 재  
실기간의 실내온도의 평균과 최고 실내온도는 습식패널을 적용한 경우와  
매우 유사하게 나타났다. 건식패널이 적용된 경우에는 설정실온 상한 초  
과시간이 습식패널에 비해 46% 감소하였다. 이는 습식패널 적용 시 난방  
운전 중 패널에 축적되었던 열이 난방중단 이후에도 공간으로 배열됨으로  
인해 발생하는 과열현상에 의한 결과이며, 이러한 현상에 의해 습식패널이  
적용된 경우의 난방운전 시간은 건식패널이 적용된 경우에 비해 12% 짧  
게 나타났다. 그러나 난방에너지 소비는 습식패널을 적용했을 때에 비해  
건식패널을 적용했을 때가 3% 정도 감소하였으며, 이는 습식패널의 열적  
관성에 의한 불필요한 열량 공급으로 인해, 과열현상 뿐 아니라 불필요한  
에너지의 소비도 발생하기 때문인 것으로 사료된다.

한편, 습식패널 적용 시 연속 및 간헐운전에 따른 평균 실내온도와 최  
고 실내온도 차이는 거의 나타나지 않았으며, 이는 건식패널 적용 시에

도 마찬가지였다. 그러나 최저 실내온도는 간헐운전 적용 시 큰 폭으로 하강하였는데, 이는 재실하지 않는 기간의 난방중단 이후 재가동하는 과정에서 설정실온을 회복하는 과정에서 나타나는 현상으로, 운전방식에 따른 공급 온수온도의 영향에서 나타나는 결과와 동일하다.

그러나 연속운전을 적용했을 때에 비해 간헐운전 적용 시, 설정온도 상한 초과시간이 습식패널의 경우 38%, 건식패널의 경우 22% 감소하였으나, 설정온도 하한 미달시간이 크게 상승하였다. 난방중단 후 재가동 시 실내 설정온도 회복에 소요되는 시간으로 인해 연속운전에 비해 간헐운전의 난방운전 누적시간이 습식패널과 건식패널의 경우 각각 28%, 9% 증가하였으나, 습식 및 건식패널 적용 시 약 15% 정도의 난방에너지 저감 효과가 있었다.

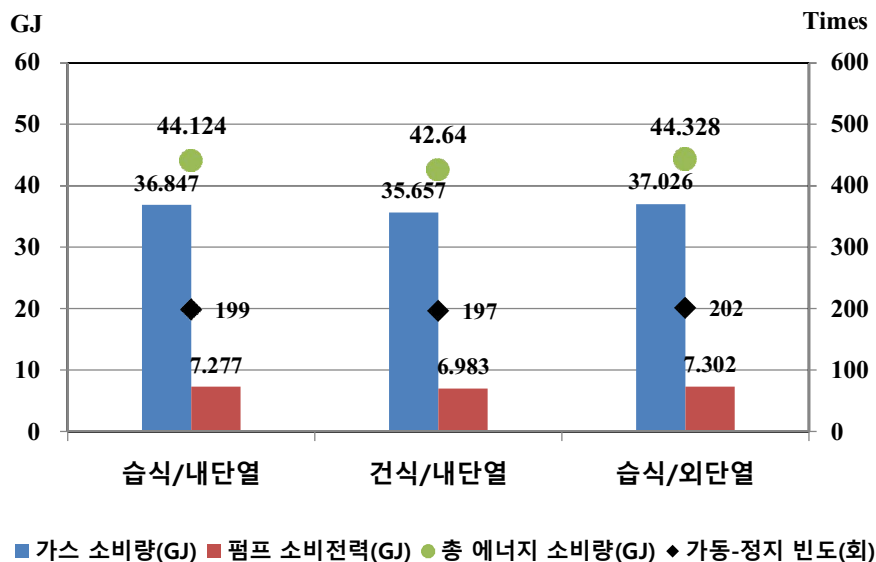


그림 5.4 간헐운전 중 패널유형 및 단열방식에 따른 난방에너지 소비(기준)



연속운전 중 복사패널의 열적 특성에 대한 5.1.1절의 분석과정을 그림 5.4의 내단열 적용 시 바닥 복사난방 패널 유형에 따른 에너지 소비량에 적용하면, 단위 열시정수 증가 당 연간 약 481 kJ의 난방에너지 소비가 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 연속운전 경우와 마찬가지로, 간헐운전 중 열량의 단속이 용이한 비교적 작은 열시정수를 갖는 복사패널의 활용이 요구된다.

한편, 간헐운전 적용 시 열시정수 증가 당 연간 난방에너지 증가는 연속운전 중의 단위 열시정수 증가 당 에너지 증가량에 비해 약 32% 증가했으며, 바닥 복사난방 패널의 열시정수 증가에 의한 난방에너지 증가는 연속운전에 비해 간헐운전 적용 시 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 간헐운전 적용 시에는 작은 열시정수를 갖는 바닥 복사난방 패널의 적용이 난방 및 에너지 성능 개선을 위해 더욱 필요하다.

### (3) 건물구조체의 열적 특성

외단열이 적용된 기존 공동주택에서, 간헐운전 중 재실기간의 실내온도 평균과 범위는 내단열을 적용한 경우와 매우 유사하게 나타났으나, 외단열이 적용된 경우 설정실온 상한 초과시간이 내단열을 적용한 경우에 비해 8% 감소하였다. 이는 외단열 적용 시 난방운전 중 공간에 유입된 열의 일부를 건물외피에 축적되었다가, 난방이 중단된 후에 공간으로 배열됨으로 인한 열적 완충(thermal buffer) 효과에 의한 결과이다. 그러나 건물외피의 열 축적은 난방운전 시 불필요한 열의 공급을 유발하며, 이로 인해 난방운전 시간 증가와 에너지 소비 증가 현상이 나타났다. 그림 5.4를 통해 외단열을 적용한 경우 내단열이 적용된 경우에 비해 난방에

너지 소비와 난방운전 누적 시간이 모두 미미한 수준이지만 증가하는 것을 알 수 있다.

기존 공동주택의 건물외피 구성과 물성을 고려한 외단열 방식 적용 시 난방운전 및 열적 거동은 기존 내단열 방식에 비해 큰 차이를 보이지는 않았지만, 난방공간의 과열 및 과냉 측면에서는 최고 및 최저 실내온도를  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$  정도 완화하는 효과를 보였으며, 반면 난방에너지 소비 측면에서는 전체 난방에너지 소비량 기준 1% 정도의 상승효과를 나타냈다.

한편, 외단열 적용 시 연속 및 간헐운전에 따른 최고 실내온도 차이는 나타나지 않았으나, 최저 실내온도는 간헐운전 적용 시 큰 폭으로 하강하였다. 이는 재실하지 않는 기간의 난방중단 이후 재가동할 때 실내온도를 설정실온까지 회복하는 과정에서 나타나는 현상으로, 운전방식에 따른 공급 온수온도, 바닥 복사난방 패널 유형에 따른 난방운전 및 열적 거동 특성과 동일하게 나타나고 있다.

그러나 연속운전을 적용했을 때에 비해 간헐운전 적용 시, 설정온도 상한 초과시간이 33% 감소하였으나, 설정온도 하한 미달시간이 크게 상승하였다. 난방중단 후 재가동 시 실내 설정온도 회복에 소요되는 시간으로 인해 연속운전에 비해 간헐운전의 난방운전 누적시간이 26% 증가하였으나, 약 14% 정도의 난방에너지 저감 효과가 있었다.

연속운전 중 건물구조체의 열적 특성에 대한 5.1.1절의 분석과정을 그림 5.4의 습식패널 적용 시 단열방식에 따른 에너지 소비량에 적용하여 분석하면, 일반적인 내단열에 비해 내부공간의 열용량이 100% 증가할 때 난방에너지 소비는 연간 약 5,100 kJ 증가하는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터, 비교적 난방부하가 큰 기존 공동주택에서 간헐운전 난방을 수행할 때, 비교적 큰 열용량의 공간 내부 측 자재에 의해 내부공간의 열에너지 흡수 및 배열이 크고 완만하게 발생할수록 난방에너지 소비가 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 공간 내부 측 자재의 열용량이 클수록 실내온도 변동 폭은 감소하여 열 쾌적 측면에서는 유리하므로, 간헐운전 중 건물외피 단열방식과 관련된 요구는 난방운전 중 달성하고자 하는 주요 목적에 따라 달리 판단될 수 있다고 사료된다.

한편, 간헐운전 적용 시 내단열 대비 공간내부 열용량의 100% 증가 당 연간 난방에너지 증가는 연속운전 중의 열용량 증가 당 에너지 증가량에 비해 약 258% 증가 했으며, 공간내부 열용량 증가에 의한 난방에너지 증가는 연속운전에 비해 간헐운전 적용 시 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 간헐운전 적용 시에는 공간내부의 열용량이 작은 건물구조를 선택하는 것이 난방에너지 성능 개선에는 유리하다고 판단된다.

이상의 분석으로부터 기존 공동주택에서 난방수요 변화에 대한 난방설비의 대응을 통한 난방 및 에너지 소비 저감을 위해 Hydronic Thermal Energy System에 요구되는 조건 및 성능을 종합하면 다음과 같다.

최대 난방부하에 비해 높은 공급 온수온도로 공급하는 관행적 난방설비 계획이 아니더라도, 최대 난방부하 기준으로 산정되는 설계 공급 온수온도의 난방온수를 일정하게 공급하는 난방운전의 경우, 부분부하 운

전으로 인해 대부분의 난방운전 기간에 단위시간당 요구열량에 비해 많은 열량을 공급하게 되는 열매조건을 유지하고 있다. 그러므로 운전방식과 무관하게 실내온도가 설정범위 내로 유지되는 상태에서의 난방운전 중에는 과잉 열량공급으로 인한 과열현상과 이로 인한 에너지 낭비가 발생한다. 한편, 간헐운전 중 재실하지 않는 기간의 난방중단으로 인한 실온 하강 등의 이유로 실내온도가 설정범위 내로 유지되지 않고 있을 경우, 해당 시점의 난방수요는 난방부하 뿐 아니라 설정실온에 도달하기 위해 공간 내의 공기와 난방설비(보유수량, 복사패널), 건물외피를 설정조건의 열적 상태로 회복하기 위한 큰 단위시간당 열량의 공급이 요구된다.

따라서 연속 또는 간헐운전 중 실내온도가 설정범위 내로 유지되는 기간에는 해당 시점의 난방부하를 고려한 새로운 공급 온수온도의 적용, 실내온도가 설정범위 내로 유지되지 않는 상황에서의 운전 중에는 연속운전을 가정한 해당 시점의 난방부하 이외에 공간 내의 열적 상태 회복을 반영한 공급 온수온도의 적용, 즉, 난방부하와 난방운전에 따라 변화하는 난방수요에 상응하는 단위시간당 열량공급이 요구된다.

실내온도가 설정범위 내로 유지되고 있는 상태에서의 난방운전 시, 복사난방 패널 유형과 무관하게 과열현상이 발생하였으며, 이는 공급 온수온도의 영향이 강하게 작용한 결과이다. 동일한 공급 온수온도 조건에서, 난방가동 중 열의 축적이 많은 습식패널은 열 공급이 불필요한 경우에도 실내로 열을 공급하게 되므로 과열현상이 발생하는 빈도가 건식패널의 2배에 달했으며, 난방에너지 소비도 더 크게 나타났다. 한편, 간헐운전 중 재실하지 않는 기간의 난방중단으로 인해 실내온도가 하강하며, 이로 인해 발생하는 난방 재가동 시 난방불쾌적 기간은 열의 축적이 필요한 습식패널에 비해 건식패널의 경우 25% 정도 단축되는 것으로 나타났다.

이러한 현상은 복사패널의 열전달층에 축적된 열에너지를 공간에 전달하는 복사패널의 열적 특성에 의한 결과로 볼 수 있으며, 난방수요의 변화에 대한 대응 측면에서 열량 공급의 인위적 단속(斷續)이 용이하며 불필요한 시간지연을 단축할 수 있는 작은 열시정수를 갖는 말단설비의 적용이 난방 및 에너지 성능 개선에 유리함을 알 수 있다.

공간 내의 건물외피는 난방운전 중 공간으로 유입된 열의 일부를 건물외피에 축적하였다가 공간 내의 열량 부족 시 다시 방열하는 열적 완충(thermal buffer) 역할을 하고 있다. 이에 따라, 공간 내 건물외피의 열용량이 비교적 큰 경우 실내온도 변동 폭을 감소시키는 효과가 있었다. 즉, 실내온도의 상승과 하강을 완화한다. 그러나 이러한 이유 때문에, 난방운전 중 건물외피에 축적되는 불필요한 열의 공급을 유발할 수 있다.

그러나 공간내부 건물외피의 열용량이 큰 외단열이 내단열에 비해 감소시킨 10% 과열현상에 비해 증가시킨 1% 미만의 에너지 소비를 고려할 때, 복사난방 패널의 공급열량 조절 상의 제약을 보완하여 쾌적을 유지하는 목적에서는 공간내부 건물외피의 축열 용량이 큰 것이 더 유리하다고 판단된다.

## 5.2 에너지절약형 공동주택에서의 난방수요 대응 요구

에너지절약형 공동주택에서 공급 온수온도, 바닥 복사난방 패널의 열적 특성(열시정수), 건물구조체의 열적 특성(열용량)에 의한 난방수요 변화 및 대응을 고려하여 난방 및 에너지 성능을 개선하기 위한 난방설비 요구조건을 연속운전 및 간헐운전 적용 사례로 구분하여 분석하였다.

## 5.2.1 연속운전을 고려한 설비 대응

### (1) 공급 온수온도

에너지절약형 공동주택에서 연속운전 중 공급 온수온도 조건에 따른 난방운전 및 열적 거동은 기존 공동주택에서 연속운전 중일 때와 동일한 경향을 보였다. 따라서 기존 공동주택에서 연속운전 중일 때의 분석 결과를 동일하게 적용할 수 있다.

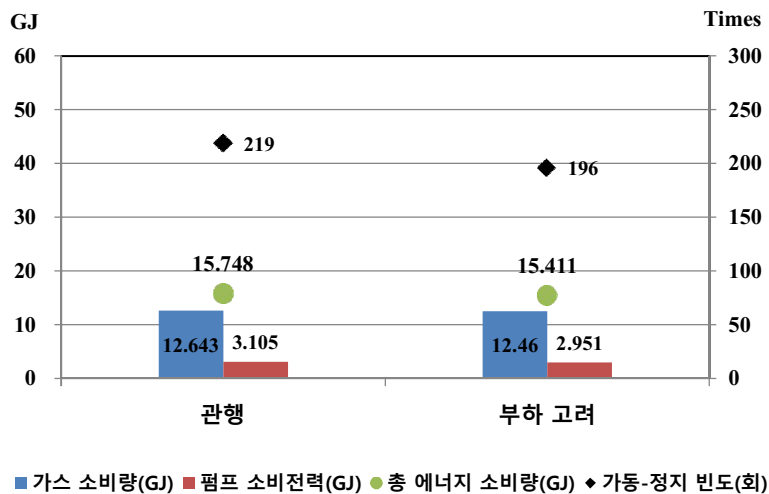


그림 5.5 연속운전 중 공급 온수온도에 따른 난방에너지 소비(에너지절약형)

연속운전 적용 시, 관행적 공급 온수온도를 적용할 때에 비해 난방부하를 고려한 공급 온수온도를 적용할 때에 설정 실내온도 상한 초과시간이 약 6% 정도 감소하였으며, 이 결과로부터 실제 난방부하를 처리하기 위해 요구되는 온수온도에 근접한 조건의 온수를 공급할수록 과잉열량 공급에 의한 과열현상이 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 관행적 적용에

의해 난방부하에 비해 지나치게 높은 온도의 온수를 공급할 때에 비해, 운전 누적시간은 약간 증가하지만 난방에너지 소비는 약간 감소하였다. 따라서 난방패적 및 에너지 성능 측면에서 난방부하를 고려한 공급 온수 온도가 적용되는 것이 유리함을 알 수 있다.

한편, 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서의 설정 실내 온도 상한 초과시간이 약 2배 증가한 반면 난방운전 누적시간은 약 75% 감소하여, 에너지절약형 공동주택에서의 난방에너지 소비량은 기존 공동주택에서와 비교할 때 70% 감소하였다. 따라서 연속운전이 적용된 에너지절약형 공동주택의 경우 기존 공동주택과 비교할 때 과잉열량 공급으로 인한 과열현상과 이로 인한 패적 성능 개선을 위한 공급 온수온도 조건에 대한 검토가 더욱 필요하다고 사료된다.

## (2) 바닥 복사난방 패널의 열적 특성

건식 바닥 복사난방 패널이 적용된 에너지절약형 공동주택에서, 연속 운전 중 난방운전 및 열적 거동은 기존 공동주택에서의 연속운전 중일 때와 유사한 경향을 나타냈다.

전반적으로 설정실온에 비해 높은 실내온도 분포를 보였으나, 건식패널이 적용된 경우에는 설정실온 상한 초과시간이 습식패널에 비해 15% 감소하였다. 이는 기존 공동주택에서와 마찬가지로 습식패널 적용 시 난방운전 중 패널에 축적되었던 열이 난방중단 중에 공간으로 배열되어 발생하는 과열현상에 의한 결과이지만, 난방부하 감소로 복사패널에 축적된 열의 양이 감소하여 에너지절약형 공동주택에서 습식패널에 비한 건식패널에서의 과열시간 감소폭이 줄어 든 것으로 판단된다. 그러나 난방에너지 소비는 습식패널에 비해 건식패널을 적용했을 때가 1% 정도 크게 나타났다.

한편, 단위 열시정수 증가 당 연간 약 70 kJ의 난방에너지 소비가 증가하였다. 바닥 복사패널의 열시정수가 클수록 난방에너지 소비가 증가하므로, 난방 및 에너지 성능 개선을 위해 열량의 공급과 중단이 용이한 비교적 작은 열시정수를 갖는 패널을 적용하는 것이 효과적이다. 또한 습식패널과 같이 열용량과 열시정수가 큰 경우에는, 난방중단 시 패널이 보유하고 있는 열이 공간으로 배열되지 않도록 저장하였다가 필요 시 배열하도록 조절할 수 있는 방안도 난방 및 에너지 성능 개선을 위해 가능한 대안이라 판단된다.

열시정수 증가에 의한 난방에너지 소비 증가는 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서 작게 나타났으며, 난방부하가 감소할수록 연속운전 중 복사패널 열시정수의 영향이 저감된다는 것을 의미한다.

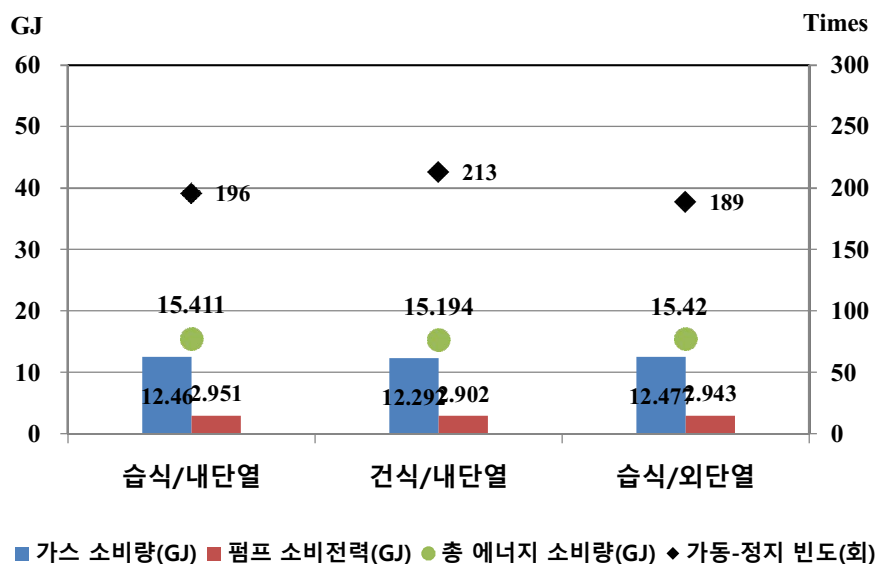


그림 5.6 연속운전 중 패널유형 및 단열방식에 따른 난방에너지 소비(에너지절약형)



### (3) 건물구조체의 열적 특성

외단열이 적용된 에너지절약형 공동주택에서, 연속운전 중 난방운전 및 열적 거동은 기존 공동주택에서의 연속운전 중일 때와 유사했다.

전반적으로 설정실온에 비해 높은 실온 분포를 보였으나, 외단열이 적용된 경우 설정실온 상한 초과시간이 내단열 적용 시에 비해 미미한 수준으로 감소하였다. 이는 기존 공동주택에서와 마찬가지로 공간내부 건물외피의 열적 완충(thermal buffer) 효과에 의한 결과이지만, 난방부하의 절대적인 크기가 작은 관계로 그 차이는 매우 미미하다. 또한 기존 공동주택에서와 마찬가지로, 외단열 적용 시 내단열이 적용 시에 비해 난방 에너지 소비와 운전 누적시간이 미미한 수준이지만 약간 증가하였다.

외단열의 경우 내부자재의 열용량이 100% 증가할 때 내단열에 비해 난방에너지 소비가 연간 약 225kJ 증가하였으며, 내부자재의 열용량 증가에 의한 난방에너지 소비 증가는 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서 작게 나타났다. 따라서 난방부하가 감소할수록 내부공간의 열용량 증가에 의한 난방에너지 소비 증가 정도가 약화되는 것을 알 수 있다.

건물구조체의 열용량이 난방공간의 열적 거동 및 에너지 소비에 미치는 영향은 크지 않았으나, 난방공간의 과열 및 과냉 측면에서는 최고 및 최저 실내온도를  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  정도 완화하는 효과를 보였다. 반면 난방에너지 소비는 미미한 수준의 증가가 있으므로, 연속운전 중 내부공간의 열용량 크기는 난방운전의 주요 요구에 따라 판단되어야 할 것이다.

## 5.2.2 간헐운전을 고려한 설비 대응

### (1) 공급 온수온도

에너지절약형 공동주택에서 간헐운전 중 공급 온수온도 조건에 따른 난방운전 및 열적 거동은 기존 공동주택에서의 간헐운전의 경우와 동일한 형태를 나타냈다. 그러므로 에너지절약형 공동주택에서 간헐운전 적용 시 난방설비 대응 요구조건도 기존 공동주택에서의 내용과 유사하게 파악된다.

그러나 간헐운전이 적용된 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서의 설정 실내온도 상한 초과시간이 약 3.5배 증가한 반면, 난방운전 누적시간과 난방에너지 소비는 각각 약 60%와 70% 감소하였다. 따라서 간헐운전이 적용된 에너지절약형 공동주택의 경우 기존 공동주택과 비교할 때 과잉열량 공급으로 인한 과열현상과 이로 인한 쾌적 성능 개선을 위한 공급 온수온도 조건에 대한 검토가 더욱 필요하다고 사료된다.

한편 에너지절약형 공동주택의 경우 난방부하 감소와 낮 동안의 일사유입으로 난방중단 중 실내온도 하강 폭이 작으므로, 간헐운전으로 인한 난방 재가동 시 설정 실온으로 비교적 빠르게 회복된다. 따라서 에너지절약형 공동주택에서 설정실온 하한에 미달하는 실온을 나타내는 기간이 거의 발생하지 않는다. 뿐만 아니라 실온이 설정 값에 도달한 이후에는 연속운전과 동일한 난방수요 조건이 유지되므로, 이 기간에는 연속운전에서의 공급 온수온도에 따른 영향과 동일한 현상이 발생한다.

따라서 간헐난방이 적용된 에너지절약형 공동주택에서는 난방부하를 고려한 공급 온수온도를 부분부하 조건에 맞게 조절하여 단위시간당 열량을 조절함으로써 과잉 열량공급에 의한 과열현상을 방지하는 것에 난방설비 대응의 중점을 맞추는 것이 매우 중요하다고 볼 수 있다.

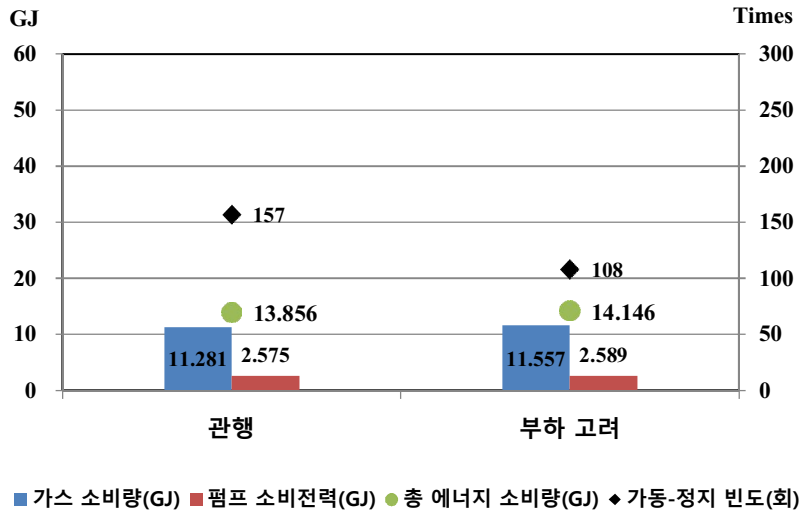


그림 5.7 간헐운전 중 공급 온수온도에 따른 난방에너지 소비(에너지절약형)

## (2) 바닥 복사난방 패널의 열적 특성

건식패널이 적용된 에너지절약형 공동주택에서, 간헐운전 중 운전 및 열적 거동은 기존 공동주택에서의 간헐운전 중일 때와 유사한 경향을 보였다.

전반적으로 설정실온에 비해 높은 실내온도 분포를 보였으며, 건식패널이 적용된 경우 설정실온 상한 초과시간이 습식패널에 비해 12% 감소하였다. 그러나 난방에너지 소비는 습식패널을 적용했을 때에 비해 건식패널을 적용했을 때가 1% 정도 크게 나타났다.

한편, 단위 열시정수 증가 당 연간 약 142 kJ의 난방에너지 소비가 증가하였다. 복사패널의 열시정수가 클수록 난방에너지 소비가 증가하므로, 난방 및 에너지 성능 개선을 위해 열량의 공급과 중단이 용이한 비교적 작은 열시정수를 갖는 패널을 적용하는 것이 효과적이다. 또한 습식패널

과 같이 열용량과 열시정수가 큰 경우, 난방중단 시 패널이 보유하고 있는 열이 공간으로 배열되지 않도록 저장하였다가 필요 시 배열하도록 조절할 수 있는 방안도 난방 및 에너지 성능 개선에 효과적이라 판단된다.

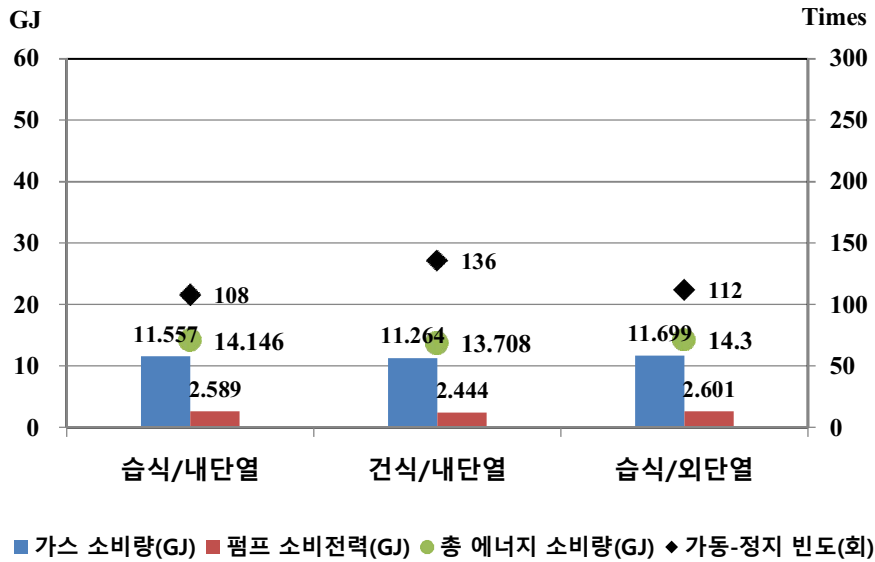


그림 5.8 간헐운전 중 패널유형 및 단열방식에 따른 난방에너지 소비(에너지절약형)

열시정수 증가에 의한 난방에너지 소비 증가는 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서 작게 나타났으며, 난방부하가 감소할수록 간헐운전 중 바닥 복사난방 패널 열시정수의 영향이 저감된다는 것을 의미한다. 한편, 난방부하가 비교적 작은 에너지절약형 주거건물에서 연속운전에 비해 간헐운전일 때 열시정수 증가에 따른 난방에너지 증가 폭이 크게 나타났다. 이는 난방부하가 감소할수록 복사난방 패널의 열시정수 증가는 난방에너지 소비 증가의 주된 원인이 된다는 것을 의미한다.

### (3) 건물구조체의 열적 특성

외단열이 적용된 에너지절약형 공동주택에서, 간헐운전 중 운전 및 열적 거동은 기존 공동주택에서의 간헐운전 중일 때와 매우 유사한 경향을 보였다. 전반적으로 설정실온에 비해 실온이 높게 유지되었으며, 설정실온 상한 초과시간이나 누적 운전시간은 단열방식과 무관하게 유사하게 나타났다.

외단열의 경우 공간 내측 자재의 열용량이 100% 증가할 때 내단열에 비해 난방에너지 소비가 연간 약 3,850kJ 증가하였다. 내측 자재의 열용량 증가에 의한 난방에너지 소비 증가는 기존 공동주택에 비해 에너지절약형 공동주택에서 작게 나타났으나 그 감소폭은 크지 않았다.

건물구조체의 열용량이 난방공간의 열적 거동 및 난방에너지 소비 특성에 미치는 영향은 크지 않았으나, 난방공간의 과열 및 과냉 측면에서는 최고 및 최저 실내온도를  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  정도 완화하는 효과를 나타냈다. 반면 난방에너지 소비는 미미한 수준의 증가가 있으므로, 연속운전 중 내부공간의 열용량 크기는 난방운전 중점사항에 따라 판단되어야 한다.

이상의 분석으로부터 에너지절약형 공동주택에서 난방수요 변화에 대한 난방설비 대응을 통한 난방 및 에너지 소비 저감을 위해 Hydronic Thermal Energy System에 요구되는 조건 및 성능을 종합하면 다음과 같다.

에너지절약형 공동주택에서 공급 온수온도 조건에 따른 난방운전 및 열적 거동은 기존 공동주택에서와 동일한 경향을 나타내고 있다. 따라서 에너지절약형 공동주택 적용을 위한 Hydronic Thermal Energy System에 요구되는 공급 온수온도 관련 요구조건 및 성능은 기존 공동주택에 요구되는 앞 절의 분석내용과 동일하게 고려될 수 있다.

따라서 연속 또는 간헐운전 중 실내온도가 설정범위 내로 유지되는 기간에는 해당 시점의 난방부하를 고려한 새로운 공급 온수온도 적용, 실내온도가 설정범위 내로 유지되지 않는 상황에서의 운전 중에는 연속운전을 가정한 해당 시점의 난방부하 이외에 공간 내의 열적 상태 회복을 반영한 공급 온수온도의 적용, 즉, 난방부하와 난방운전에 따라 변화하는 난방수요에 상응하는 단위시간당 열량공급이 요구된다.

한편, 난방부하가 상대적으로 작은 에너지절약형 공동주택에서는 손실 열량이 매우 작기 때문에 기존 공동주택에 비해 과열현상 가능성이 매우 높으나, 절대적인 난방에너지 소비 규모가 작으므로 과열로 인해 추가되는 에너지소비량은 비교적 작은 편이다. 따라서 에너지절약형 공동주택에서는 과열방지를 통한 난방쾌적 유지에 Hydronic Thermal Energy System의 적용 목적 우선순위를 둘 필요가 있다고 판단된다. 더욱이 간헐운전 중 재실하지 않아 난방을 중단하는 낮에 손실열량 감소와 일사의 영향으로 실온 하강 폭이 매우 작으므로 과열방지를 위한 요구가 더욱 중요하다.

에너지절약형 공동주택에서 복사패널의 유형에 따른 난방운전 및 열적 거동은 기존 공동주택에서와 유사한 경향을 나타냈다. 따라서 에너지절약형 공동주택 적용을 위한 Hydronic Thermal Energy System에 요구되는 복사패널의 열적 특성 관련 요구조건 및 성능은 기존 공동주택을 대상으로 분석한 앞 절의 내용과 동일하게 고려될 수 있다.

즉, 복사패널의 열적 특성과 관련하여, 난방수요 변화에 대한 대응 측면에서 공급열량의 인위적 단속(斷續)이 용이하며 불필요한 시간지연을 줄일 수 있는 말단설비의 적용이 난방 및 에너지 성능 개선에 유리하다.

한편, 에너지절약형 공동주택의 작은 난방부하와 이로 인해 운전 중 복사패널을 통해 공간에 공급되는 열량의 크기가 감소하는 등의 이유로, 복사패널에 축적되는 열량 자체가 감소하여 습식패널에 대한 건식패널의 과열시간 감소폭은 줄어들었다.

에너지절약형 공동주택에서 건물의 단열방식에 따른 난방운전 및 열적 거동은 기존 공동주택에서와 유사한 경향을 나타냈다. 따라서 에너지절약형 공동주택 적용을 위한 Hydronic Thermal Energy System에 요구되는 공간내부 측 자재의 열용량 관련 요구조건 및 성능은 기존 공동주택에 요구되는 앞 절의 분석내용과 동일하게 고려될 수 있다.

난방운전 중 열적 완충(thermal buffer)효과를 통해 실내온도 변동 폭을 완화하기 위한 목적에서는 공간내부 건물외피의 열용량이 큰 외단열을 적용하는 것이 유리하다. 특히, 에너지절약형 공동주택의 작은 난방부하와 이로 인한 난방에너지 소비량의 절대적인 크기를 고려하여 쾌적성능 개선을 우선적으로 고려하는 것이 유의미하다고 판단된다.

## 5.3 난방설비 대안 - Hydronic Thermal Energy System

### 5.3.1 난방설비 요구조건 충족 방안

난방수요에 대한 난방설비의 대응 관련 영향인자를 고려할 때, 난방수요 변화에 대응하기 위한 난방설비 요구조건 충족방법은 설비적인 방법

과 건축적인 방법으로 구분할 수 있다. 즉, 공급 온수온도 및 바닥 복사 난방 패널과 관련된 요구조건은 설비적인 영역에 해당하고, 건물외피의 열적 특성에 관련된 요구조건은 건축적인 영역에 해당된다.

설비적인 영역의 요구조건들은 난방설비의 구성과 운전방안을 통하여 적극적으로 대응 가능한 반면, 건축적인 영역의 요구조건들은 난방 및 에너지 성능보다 우선하는 건축적인 요구를 먼저 고려해야 한다. 따라서 설비적인 영역의 요구조건은 난방수요 대응을 고려한 Hydronic Thermal Energy System(HTES)의 구성과 운전에 반영하였으며, 건축적인 영역의 요구조건들은 선택 가능한 일부 가용대안으로 제시하였다.

한편, 바닥 복사난방 패널은 바닥 구조체의 역할과 난방설비의 역할을 동시에 담당하고 있기 때문에, 복사패널의 열적 특성과 관련된 요구조건은 설비적인 영역과 건축적인 영역 모두에 해당될 수 있다. 그러나 바닥 복사난방 패널은 난방 및 에너지 성능보다 건축적인 측면의 규정들을 우선적으로 준수해야 하며, 이에 따라 복사패널의 열적 특성이 어느 정도 결정되기 때문에, 적극적인 대응을 고려하기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 바닥 복사난방 패널의 열적 특성과 관련된 요구조건은 건축적인 영역의 요구조건 반영방법과 마찬가지로 가용대안을 제안하였다.

### (1) 설비적인 대안 - 공급열량의 조절

난방수요 대응을 고려한 Hydronic Thermal Energy System의 구성 및 운전방안 도출 시 고려할 설비적인 영역의 요구조건은 공급 온수온도 관련 요구조건이다. 앞 절에서의 공급 온수온도 관련 요구조건 분석결과에 따르면, 난방부하와 난방운전에 따라 변화하는 난방수요에 상응하는 단위



시간당 열량을 공급할 수 있는 온도의 난방온수를 공급할 수 있어야 한다. 난방설비의 이러한 대응은, 에너지절약형 공동주택에서 상이한 조건의 온수를 요구하는 복수의 열 사용설비들이 공통으로 사용하는 통합열원과 급탕과 동시에 공유해야 하는 현재의 개별 가스보일러 적용 특성 등을 감안하면 그 중요성이 더욱 크다고 판단된다.

본 절에서는 난방수요 변화에 따른 단위시간당 공급열량 조절이라는 설비적인 측면의 Hydronic Thermal Energy System 대응방안을 정성적으로 분석하였다. 또한 정성적 분석에 의한 Hydronic Thermal Energy System의 난방수요 대응방안의 실현을 위한 구체적 설비구성(configuration)은 5.3.2절에, Hydronic Thermal Energy System에서 난방수요의 변화를 어떻게 감지하며, 공급열량의 크기는 어떻게 결정하는지에 대한 방안은 5.3.3절에 각각 제시하였다.

온수순환 방식 난방설비(hydronic heating system)에서의 열에너지 흐름을 고려할 때, 난방수요 변화에 따라 난방공간으로 공급되는 열량을 조절하는 방법으로는 열원에서의 생산열량을 조절하는 방법, 공간 내의 말단설비(terminal unit)인 바닥 복사난방 패널에 전달되는 열량을 조절하는 방법, 바닥 복사난방 패널에서 최종적으로 공간에 공급되는 열량을 조절하는 방법을 고려할 수 있다.

#### ① 열원에서의 생산열량 조절

열원에서의 생산열량을 조절하는 방법은, 순간 가열방식 개별 가스보일러를 사용하는 개별난방 방식에서는 개별 가스보일러의 단위시간당 생산 열량을 조절하는 방법을 의미하며, 지역난방 열원을 이용하는 중앙난

방 방식에서는 공동주택 단지 기계실의 열원설비(sub-station)에서 각 세대로 공급하기 위해 생산되는 열량을 조절하는 방법을 의미한다.

지금까지의 개별 가스보일러는 난방온수를 가열하는 버너(burner)가 일정한 출력으로 가동되었지만, 최근에는 부분부하 운전 효율을 고려하여 버너의 불꽃을 조절할 수 있는 보일러가 출시되고 있다.<sup>119)</sup> 버너의 출력은 투입되는 가스의 양을 조절하거나 공기의 혼합비율을 조절하는 방식으로 조절되는데, 기술적인 한계로 인해 10%까지 조절 가능<sup>120)</sup>한 상황이다. 국내에는 불꽃을 3단계로 조정할 수 있는 보일러가 출시되고 있으며, 최대 10% 수준까지 조절이 가능하다.<sup>121)</sup> 더욱이 난방부하에 비해 큰 급탕요구를 기준으로 보일러 용량이 산정되는 특징에 의해, 개별열원에서 생산열량 조절은 조절범위 한계 뿐 아니라 부분부하 운전 중의 효율 문제도 여전히 제기되고 있다.

뿐만 아니라 에너지절약형 공동주택에서, 전체 열 부하(thermal load)가 감소함에 따라 열원설비의 투자비용, 유지관리, 운전효율 등을 고려하여 여러 종류의 열 사용설비들을 통합 구성하는 경향을 고려할 때, 난방수요만을 고려한 열원에서의 생산열량 조절은 한계가 있다. 더욱이 급탕설비에서의 위생문제(Legionella Bacteria Risk)로 인해 열원에서 생산되는 공급 온수온도를 감소된 난방부하 기준으로 낮게 설정하는 것은 가용한 방안으로 보기 어렵다.

지역난방 열원을 이용하는 중앙난방 방식에서 생산열원의 조절은 공동주택 단지 내의 기계실에서 수행된다. 현재 지역난방 열원을 이용하는

---

119) 리령, op. cit., p.16.

120) Renato M. Lazzarin, op. cit., p.43.

121) 리령, op. cit.

중앙난방 방식에서는 주로 단지 내 기계실(sub-station)에 열교환기를 설치하여, 지역난방 플랜트(district heating plant)로부터 공급받은 온수를 이용하여 설정된 온도의 온수를 생산하여 각 세대로 공급한다.

지역난방 열원을 이용하는 대부분의 공동주택은 단지 기계실에 난방용 열교환기와 급탕용 열교환기를 별도로 설치하여 운영하므로, 급탕과 난방을 동시에 담당하는 개별 가스보일러의 경우와 같은 용량 산정에 의한 생산열량 조절 문제는 발생하지 않는다. 그러나 최대 난방부하를 기준으로 공급 온수온도를 산정하여 공통적으로 공급하는 방식은 난방요구와 운전상황이 다양한 공동주택 단지 내 각 세대의 단위시간당 요구열량을 고려하여 생산열량을 조절하는 것을 거의 불가능하게 한다.

쾌적 및 난방에너지 절감을 위해 외기온도 조건을 반영한 공급 온수온도 조절(외기보상 제어) 방법을 적용하기도 하는데, 각 세대의 다양한 난방요구와 운전상황을 고려한 세대 별 난방요구에 대응하기에는 한계가 있으며, 오히려 난방불량 등의 문제를 유발하므로 실제로는 외기보상 제어를 수행하지 않는 상황<sup>122)</sup>이다.

따라서 지역난방 열원을 이용하는 중앙난방 방식의 경우에도 단지 기계실에서 전체 세대에 공급하는 생산열량을 조절하는 것은 적용 가능성 측면에서 한계가 있다고 판단된다.

## ② 분배설비에서의 전달열량 조절

난방수요 변화에 따라 난방공간으로 공급되는 열량을 조절하는 두 번째 방법으로, 공간 내의 말단설비(*terminal unit*)인 바닥 복사난방 패널에 전달되는 열량을 분배설비에서 조절하는 방법을 고려할 수 있다.

---

122) 최창식, 리령, 정창호, 여명석, 김광우, op. cit.

열원에서 생산된 열에너지를 공간 내의 말단설비로 전달해 주는 분배설비의 기본 역할을 고려할 때, 분배설비에서의 전달열량 조절 방법은 열원에서의 생산과 동시에 말단설비로 전달하는 방식과 열원에서 생산된 열량을 저장했다가 필요한 시기에 말단설비로 전달하는 방식으로 구분하여 분석할 수 있다. 한편, 온수순환 방식 난방설비(hydrionic heating system)에서 공급열량은 열매인 온수의 유량을 조절하는 방법과 온수온도를 조절하는 방법을 통해 조절 가능하다.

따라서 분배설비에서의 전달열량 조절방안은 생산시점과의 관계와 실제적 열량 조절방식을 고려하여 선택할 수 있으며, 각각의 방법은 열원 방식에 따라 그 적용의 효용을 직관적으로 판단할 수 있다.

순간 가열방식 개별 가스보일러를 이용하는 개별난방에서 보일러가 아닌 분배설비에서 온수유량 및 온수온도 조절을 통해 열량을 조절하는 방식은 세대의 난방수요 변화에 따라 열원(보일러)으로 환수되는 온수유량의 지속적인 변화를 수반한다. 그러나 보일러 내부를 순환하는 유량이 최적 운전조건에서의 순환유량보다 작아지면, 버너가 착화되었을 때 보일러에서 출수되는 온수온도가 급격하게 상승하게 되며, 출수온도의 큰 변동 폭은 분배설비에서의 열량 조절의 신뢰성을 저하시킬 수 있다. 또한 순환유량 변화로 인한 급격한 출수온도의 변화는 보일러의 잦은 가동-정지(short cycling) 현상의 원인이 되며, 에너지 소비 증가로 연결된다.

한편, 개별 가스보일러에는 일반적으로 정속펌프가 사용되는데, 부하가 작은 일부 실에서만 난방이 요구되어 다른 실로의 유량공급이 감소 또는 차단될 때, 난방 중인 실(room)로의 유량 편중에 의한 과잉 유량공급과 이로 인한 유속 소음 및 캐비테이션 발생 가능성도 증가한다.

그러므로 순간 가열방식 가스보일러의 운전 특성과 효율, 제어 간섭,

분배설비의 수력학적 안정성 등을 고려할 때, 보일러에서 생산된 열매의 유량이나 온도를 분배설비에서 동시에 조절하여 전달하는 방법은 부가적으로 발생하는 문제를 고려하면 효과적인 대안으로 판단하기에는 개선되어야 할 많은 문제들을 내포하고 있다. 그러므로 순간 가열방식 가스보일러를 활용하는 개별난방 방식에서는 열원에서 생산된 열에너지를 생산과 동시에 분배설비에서 조절하여 공급하는 방법보다는, thermal buffer tank와 같이 열에너지의 저장이 가능한 추가설비를 활용하여 난방요구에 따라 공급되는 온수유량이나 온도를 조절함으로써 분배설비에서 열량을 조절하는 방식이 더 효율적이라 판단된다.

지역난방 열원을 이용하는 중앙난방 방식의 경우, 난방온수 공급 배관망에 연결되어 있는 열 수요처(세대)의 요구열량과 조건, 시점이 다양하기 때문에 공통 분배설비에 항상 난방온수가 순환할 필요가 있다. 이러한 조건에서는 개별 가스보일러와 같은 열원운전 상의 제약이 감소하므로, 단위세대에서 요구하는 시점에 즉각적으로 세대 요구열량 취득이 가능하다. 현재 지역난방 열원을 이용하는 공동주택에서는 중앙에서 공급되는 동일한 온도의 난방온수 유량을 단속(on/off)제어(2장)하고 있으며, 이러한 난방운전은 난방 및 에너지 성능 개선을 위해 공급열량을 조절하여 난방수요 변화에 대응해야 하는 주요 원인임을 4장과 5장의 분석내용을 통해 알 수 있다. 따라서 중앙에서 공급된 열에너지를 단위세대 내의 분배설비에서 즉각적으로 조절하여 공급하는 방식의 적용이 타당하다.

한편, 중앙에서 온수를 간헐적으로 공급하는 경우에는 단위세대에 열에너지를 저장하는 추가설비 활용이 효과적일 수 있으나, 비용 상승 및 세대 설비의 복잡성, 설비 점유면적 증가 등을 고려할 때 중앙에서 공급된 열에너지를 즉각적으로 조절하여 활용하는 것이 효과적일 수 있다.

각각의 열원방식에서, 말단설비에 전달하는 열량을 조절하는 실제적인 방법은 온수유량을 조절하는 방법과 온수온도를 조절하는 방법이 적용 가능하다. 그러나 온수순환 방식 난방설비에서 공급열량의 조절은 유량을 조절하는 것에 비해 온도를 조절하는 것이 효율적이라는 연구 결과<sup>123)</sup>를 고려할 때, 온수온도 제어를 통한 열량조절의 적용을 우선적으로 고려하는 것이 타당하다고 판단된다.

### ③ 말단설비에서의 방열량 조절

난방수요 변화에 따라 난방공간으로 공급되는 열량을 조절하는 세 번째 방법으로, 바닥 복사난방 패널에서 최종적으로 공간으로 공급되는 열량(rate of heat output)을 조절하는 방법을 고려할 수 있다.

대류난방의 경우 난방공간으로 공급되는 공기의 양을 제어함으로써 최종적인 열량의 공급을 단속(團束)할 수 있다. 즉, 난방운전을 통해 실내온도가 설정 값에 도달하면, 공조공기의 공급을 차단함으로써 추가적인 열량 공급을 중단할 수 있다. 그러나 복사난방의 경우 가열된 패널의 표면온도에 의한 복사 열전달 효과와 그에 의한 대류 열전달 효과를 이용하는 난방방식이므로, 실내온도가 설정 값에 도달하여 복사패널에 온수공급이 차단된다 하더라도, 이미 가열된 복사패널의 표면온도에 의해 불필요하게 열량이 공급된다. 특히, 열용량이 큰 형태의 바닥 복사난방 패널은 축적하는 열의 양이 크기 때문에, 복사패널에서의 방열량 조절은 더욱 어려워진다.

따라서 말단설비로써 바닥 복사난방 패널의 적용을 가정한다면, 복사패널의 축열에 의한 의도하지 않은 열의 공급을 최소화하는 방안이 요구

---

123) John Siegenthaler, op. cit., pp.343-345.

되지만, 복사패널에 전달 및 축열된 열의 조절을 통한 방열량 조절은 실제적인 대안으로 고려하기에는 기술적 대안이 부족한 형편이다.

한편, 복사패널의 열용량 및 열시정수에 의한 난방운전 및 열적 거동 특성 분석결과(4장과 5장)에 의하면, 난방성능 및 쾌적 측면에서는 열용량 및 열시정수가 비교적 작은 건식패널이 최종적인 공급열량의 단속(on/off)에 유리하다. 또한 내단열과 습식패널을 적용했을 때의 연속운전시의 에너지 소비를 기준으로 상대적인 에너지 소비를 계산하여 제시한 그림 5.9와 그림 5.10을 통해, 에너지 소비 측면에서도 열용량 및 열시정수가 비교적 작은 건식패널이 복사패널 자체에서의 공급열량 단속(on/off)에 더 효과적인 방안임을 알 수 있다.

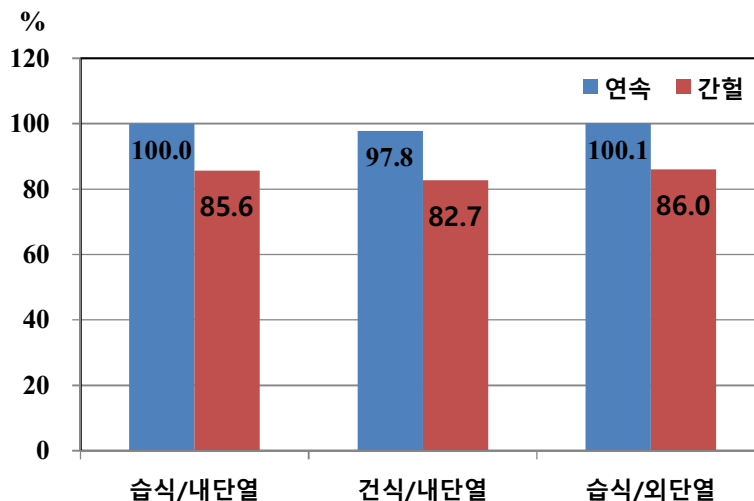


그림 5.9 기존 공동주택에서 영향인자별 상대적 에너지 소비 비율

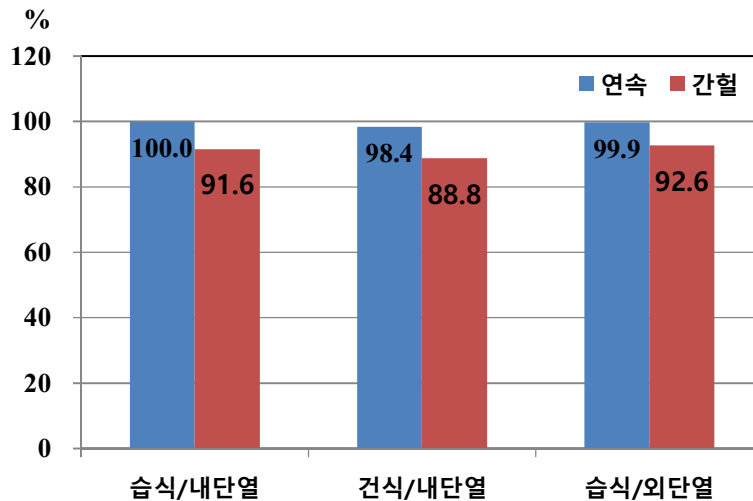


그림 5.10 에너지절약형 공동주택에서 영향인자별 상대적 에너지 소비 비율

## (2) 건축적인 대안 - 선택 가능 대안

기존 및 에너지절약형 공동주택에서 난방패적 및 에너지 성능 개선을 위한 건축적인 영역의 요구(대안)는 건물외피의 열적 특성에 관련 된 것으로, 본 연구에서는 단열방식에 따른 난방운전 및 열적 거동 특성을 분석하여 그 결과를 제시하였다. 현재 적용 가능한 외단열을 반영한 평가 결과, 내단열 적용 시에 비해 난방에너지 소비는 미미한 수준의 증가가 있었으나(그림 5.9와 그림 5.10), 비교적 큰 열용량에 의한 열적 완충역할로 인해 난방운전 중 실내온도 변동 폭이 감소하는 효과를 보였다.

건물구조체의 열용량은 패적과 에너지 측면에서 상반되는 영향을 미치지만, 전체 난방에너지의 절대적인 크기가 작은 에너지절약형 주거건물의 부하특성과 기밀성능 향상을 통한 에너지절감을 위해 외단열 주로 검토되는 등의 건축 동향을 고려할 때, 에너지절약형 주거건물에는 난방



쾌적 개선을 위해 내부 측 자재의 열용량이 비교적 큰 외단열을 적용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

### 5.3.2 Hydronic Thermal Energy System의 구성

기존 및 에너지절약형 공동주택에서 난방 및 에너지 성능 개선을 위한 요구조건(5.1절, 5.2절)의 설비적인 대응방법(5.3.1)에 대한 정성적 평가를 통해, 난방수요 대응을 고려한 Hydronic Thermal Energy System의 열원 방식별 구성방향을 도출하였다.

본 연구는 에너지절약형 주거건물에서 다수의 열 사용설비들이 공통으로 사용하는 통합열원과 난방 및 급탕을 동시에 담당하는 현행의 개별 가스보일러에서, 결합되는 다양한 말단설비에 따라 서로 다른 요구조건 of 열매를 공급해야 할 뿐 아니라 난방수요 변화에 대응하기 위해 단위시간당 열량을 조절하여 공급할 수 있는 Hydronic Thermal Energy System을 제안했다. 그러므로 설비대안으로써의 Hydronic Thermal Energy System은 이러한 대응방안을 고려하여 구성되어야 한다.

따라서 설비대안의 기본적인 요구조건인 공급열량 조절을 고려하여, 실제적인 Hydronic Thermal Energy System 구성을 위해 다음과 같은 평가 항목으로 요구조건 충족 방법에 대한 정성적인 평가를 수행하였다.

- ① 열량 조절의 용이성 : 단위시간당 요구열량을 공급하기 위한 열량 조절은 얼마나 용이한가?
- ② 설비 투자비용 : 기존 난방설비에 비해 추가되는 설비가 요구되는가?

평가항목에 따라 Hydronic Thermal Energy System의 대응방안인 공급열량 조절 방법을 열원·분배로 구분하여 검토하였고, 정성적 평가결과는 표 5.3과 같다. 말단설비에서의 방열량 조절과 관련하여 적용 가능한 대안으로, 국내 공동주택에 대부분 바닥 복사난방 패널이 적용되는 점과 복사난방의 쾌적 및 에너지 성능 상의 장점으로 인해 복사난방 패널의 에너지절약형 주거건물 적용 사례가 증가하는 점, 쾌적 및 에너지 성능, 열량공급의 단속(斷續) 용이성 등을 고려하여 건식패널을 Hydronic Thermal Energy System 구성의 기본 대안으로 가정하였다.

정성적 평가결과를 바탕으로 열원방식에 따라 설비적인 대안 구현을 위한 Hydronic Thermal Energy System 구성방향을 도출하였다.

### (1) 순간 가열방식 가스보일러를 사용하는 개별난방 방식

공급열량 조절이라는 기본적인 요구조건을 고려할 때, 개별 가스보일러를 사용하는 개별난방 방식(표 5.3)에서는 열원에서의 조절은 열원기기 자체로는 기존 열원을 통해 부분적으로 가능하다. 그러나 난방을 포함하는 타 열 사용설비를 고려할 때는 다양한 요구조건에 상응하는 열량 공급은 제한적이다. 따라서 개별난방 방식에서는 분배설비에서 전달 열량을 조절하는 방안이 더 효과적이라 판단된다. 또한 분배설비 측면에서 기존 난방 설비에 비해 추가적인 설비는 필요하지만, 공급열량 조절이 상대적으로 용이한 “생산열량의 저장 후 공급” 방안이 타당하다고 판단된다.

공급 온수온도 변화를 통한 열량 조절의 실제적인 구현은 3방 밸브를 이용한 혼합(mixing)과 열교환기를 이용한 방법이 대표적이나, 개별 세대에서의 난방유량 제어와 구성 단순화 측면에서 3방 밸브를 사용하는 계통이 더욱 효과적인 방안이라 판단된다.

표 5.3 공급열량 조절방법의 정성적 평가

			개별난방 방식	중앙난방 방식
열원	열량조절 용이성	열원기기 차원	▲ 부분적으로 조절 가능	● 조절용이
		전체 설비 차원	X 다양한 조건 대응 어려움	X 다양한 조건 대응 어려움
	설비투자		▼ 기존 가스보일러에 비해 고가	● 기존 설비구성으로 가능
분배	열량조절 용이성	생산과 동시 공급	-순환유량 변화로 인한 출수온도 ▼ 의 급격한 변화 -운전효율 저하	● 조절용이
		저장 후 공급	● 조절용이	● 조절용이
	설비투자	생산과 동시 공급	▼ 추가설비 필요	▼ 세대 내 추가설비 필요(+)
		저장 후 공급	▼ 추가설비 필요	▼ 세대 내 추가설비 필요(-)

● > ▲ > ▼ > X (적용 불가)

## (2) 지역난방 열원을 이용하는 중앙난방 방식

지역난방은 비용 효율적인 열 공급 방법이며, 특히 열사용 밀도가 높은 지역에서는 더욱 효과적이다. 최근에는 난방부하 감소로 인해 55℃ 정도의 낮은 온수온도로도 난방이 가능하다는 연구<sup>124)</sup> 결과들이 제시되고 있다. 따라서 지역난방 플랜트에서 열 수요처까지의 온수공급 과정에서의 열 손실 방지를 위해, 중온수 지역난방에서 저온수 지역난방(Low Temperature District Heating System, LTDHS)으로 전환하려는 움직임도 있다.<sup>125)</sup> 그러나 LTDHS 적용 시, 요구되는 열매온도가 상대적으로 높은 급탕에 관심이 집중되고 있으며, 난방부하에 비해 높은 온수온도가 요구되는 급탕온수의 에너지 효율적인 공급을 위한 대안들이 제시되고 있다.

설비대안의 적용 가능성과 관련 기반산업 및 현장여건을 고려할 때, 기존의 지역난방 관망 구성과 운영방법을 변화시키지 않고, 난방수요에 대응하기 위해 세대별로 공급 온수온도를 조절할 수 있는 Hydronic Thermal Energy System으로 구성하는 것이 지역난방 열원을 이용하는 공동주택에서의 실제적인 대응방안이라 할 수 있다. 개별난방 방식에서 언급한 것처럼 공급 온수온도를 조절하는 대표적인 2가지 방법이 있으나, 중앙 기계실의 반송설비가 여러 세대를 담당한다는 점을 감안하여 세대설비의 허용압력을 저감시켜주며 단위세대 난방회로의 완전한 분리를 통해 세대별 유지관리를 용이하게 하는 열교환기 적용 방법이 비용 및 유지관리 측면에서 효율적인 방안이라고 판단된다.

124) M. Brand and S. Svendsen, 2013, Renewable based low-temperature district heating for existing buildings in various stages of refurbishment. Energy(62), pp. 311-319.

125) Xiaochen Yang, Hongwei Li, Svend Svendsen, 2016, Energy, economy and exergy evaluations of the solutions for supplying domestic hot water from low-temperature district heating in Denmark, Energy Conversion and Management(122), pp.142-152.

### 5.3.3 Hydronic Thermal Energy System의 운전

연속운전 중 난방부하에 대한 대응으로써 공급열량을 조절할 수 있는 가장 대표적이고 효과적인 방법은 난방부하 크기에 지배적인 영향을 미치는 외기온도에 따라 공급 온수온도를 제어하는 방법(외기보상)이다. 외기보상 제어는 건물에서의 열 손실은 실내외 온도 차이에 비례한다는 원리와 말단설비에서의 방열량은 공급 온수온도와 실내온도의 차이에 비례한다는 두 가지 열전달 기본 원리에 바탕을 두고 있다.

그러나 기존 개별난방 방식에서는 개별열원에서의 온수온도 조절 능력 한계와 급탕부하 기준의 열원용량 산정 및 운전으로 인해, 외기보상 제어의 쾌적 및 에너지 소비 저감 측면에서의 긍정적인 효과에도 불구하고 개별난방설비에의 적용사례를 거의 찾아볼 수 없다. 또한 지역난방 열원을 이용하는 중앙난방 방식에서는 중앙열원이 담당하는 여러 세대의 난방요구가 다양함으로 인해, 외기보상에 의한 난방온수 공급 시 난방 및 에너지 성능에 지속적인 문제 제기가 있었다. 따라서 개별세대의 열적 요구를 고려하지 않은 중앙에서의 일방적이고 공통적인 외기보상 제어는 개별 단위세대의 난방수요에 대한 대응 효과를 기대하기 어렵다.

본 연구에서는 다양한 열매조건을 충족시켜야 하는 에너지절약형 주거 건물의 통합열원과 급탕 및 난방을 동시에 담당해야 하는 개별 가스보일러를 고려하여 개별 또는 중앙난방 방식에서 난방수요에 따라 공급 온수온도 조절이 가능한 Hydronic Thermal Energy System 구성방향을 제안하였다. 개별 또는 중앙난방 방식에서 난방수요에 따라 공급 온수온도의 조절이 가능하다면, 건물에서의 열 손실에 일치하도록 공급열량을 지속적으로 조절하는 것은 가장 이상적인 난방 및 에너지 성능을 발휘할 것이다. 또한 이를 효과적으로 달성할 수 있는 대표적인 방법임에도 불구하고

하고, 열원설비의 구성 및 운전 특성 상 지금까지 적용이 제한적이었던 외기보상 적용의 효용에 대해서도 재검토 해 볼 수 있다. 그러므로 외기보상이 적용된 Hydronic Thermal Energy System의 운전은 난방수요 변화에 대한 난방설비의 대응성능을 개선시켜 줄 것으로 판단된다.

한편, 외기보상 제어에 의한 공급 온수온도 조절은 외기온도에 의한 부하변화만 반영되는데, Hydronic Thermal Energy System의 운전에는 또 다른 난방수요 영향인자인 난방운전 방식에 의한 난방수요가 반영되어야 한다. 실내온도가 설정범위 내로 유지되는 동안에는 외기온도에 의한 난방부하 변화에 영향을 받으므로 외기보상 제어에 의한 공급 온수온도 조절이 타당한 난방수요 대응방법이라 판단된다. 따라서 실온이 설정범위에 도달하기 이전의 난방수요를 반영한 공급 온수온도 설정이 필요하며, 이때의 난방수요는 기본적으로 하강한 실내온도를 설정 값으로 회복하기 위한 열량과 난방중단에 의한 예열부하가 포함된다.

그러므로 난방수요 대응을 위한 Hydronic Thermal Energy System의 운전방안으로, 손실열량을 고려한 열량공급 측면에서 가장 대표적이고 효과적인 방법 중 하나인 외기보상에 의한 공급 온수온도에 운전상태를 추가적으로 반영한 온수온도를 공급 열매조건으로 하는 난방운전이 난방 및 에너지 성능 개선을 위한 효과적인 난방수요 대응방안이라 판단된다. 운전상태 즉, 간헐운전을 고려하여, 난방중단 후 재가동 시 설정실온에 도달할 때까지는 외기조건에 예열부하에 의한 공급열량을 반영하고, 설정실온 도달 후에는 외기조건만 반영한 온수온도로 공급하는 방안이다.

이에 더해, 실별 on/off 제어를 통해 각 복사패널에 공급되는 유량을 단속함으로써 세대 내 각 실에서의 추가적인 난방수요 대응이 가능하다.

한편, Hydronic Thermal Energy System 계획 시, 열원에서 생산되는 온수온도는 해당 열원이 담당하는 열 사용설비의 요구조건 중 가장 높은 온수온도 조건을 반영함으로써 다양한 열 수요에 대응할 수 있다. 난방과 함께 고려될 수 있는 열 사용설비로 급탕설비가 대표적이며, 급탕온도 뿐 아니라 Legionella Bacteria Growth에 의해 야기되는 위생문제를 방지하기 위해 50~60℃의 온수온도가 요구<sup>126)</sup>된다. 이와 더불어 난방부하 및 간헐 난방운전에 대비한 예열부하를 고려한 공급 온수온도, 동일 열원을 사용하게 될 기타 열 사용설비의 요구조건 중 가장 높은 온도를 열매조건으로 산정하여야 한다.

## 5.4 소결

난방수요 대응 영향인자인 공급 온수온도, 바닥 복사난방 패널 및 건물구조체의 열적 특성에 따른 난방설비 대응을 위한 요구조건을 기존 및 에너지절약형 공동주택에 연속 및 간헐운전이 적용 시로 세분하여 분석하였다.

또한 요구조건 충족방법을 설비적인 방법과 건축적인 방법으로 구분하여 분석하였으며, 난방운전 중 임의조절이 가능한 설비적인 측면의 요구조건을 Hydronic Thermal Energy System 구성과 운전방안 도출에 반영하였다. 한편, 복사패널 및 건물구조체의 열적 특성과 관련된 요구조건으로 복사패널의 유형과 단열방식을 난방 및 에너지 성능 개선을 위해 선택 가능한 대안으로 제시하였다. 또한 설비적인 대안 즉 공급열량 조절 관련 요구조건 충족방법에 대한 정성적 분석을 통해, 열원방식별 Hydronic Thermal Energy System의 구성방향 및 운전방안을 제안하였다.

---

126) Brian Elmegaard, Torben Schmidt Ommen, Michael Markussen, Johnny Iversen, 2016, Integration of space heating and hot water supply in low temperature district heating, Energy and Buildings(124), p.257.

(1) 최대 난방부하 기준의 온수온도로 난방온수를 공급할 때, 실온이 설정범위 내로 유지되는 기간에는 과잉 열량 공급으로 인한 과열현상과 이로 인한 추가적인 에너지 소비가 발생한다. 간헐운전 중 난방중단 후 재가동 시에는 설정범위 내로 실온을 회복하기 위해 공간 내의 공기와 난방설비, 건물외피를 연속운전 조건에서의 열적 상태로 회복하기 위한 열량의 공급이 추가적으로 요구된다. 따라서 난방부하와 난방운전에 따라 변화하는 난방수요에 상응하는 단위시간당 열량공급이 요구된다.

(2) 복사패널의 열용량 및 열시정수가 클수록 불필요한 열의 공급으로 인해 과열현상이 심화되며, 난방에너지 소비도 증가한다. 한편, 간헐운전 중 난방중단 후 재가동 시 설정실온 회복까지의 난방불쾌적 기간도 복사패널의 열용량 및 열시정수가 클수록 증가한다. 따라서 공급열량의 인위적 단속(斷續)이 용이하며 불필요한 시간지연을 단축할 수 있는 비교적 작은 열시정수를 갖는 말단설비 적용이 난방 및 에너지 성능 개선에 유리하다.

(3) 건물구조체의 열용량이 난방공간의 열적 거동 및 난방에너지 소비에 미치는 영향은 크지 않았으나, 열용량이 클수록 난방공간의 과열 및 과냉을 완화하는 열적 완충효과가 증대되었으며 반면 난방에너지 소비는 미미한 수준으로 증가했다. 에너지절약형 공동주택에서는 작은 난방부하와 이로 인한 난방에너지 소비량의 절대적인 크기를 고려할 때, 쾌적성능 개선을 우선적으로 고려하여 내부 측 자재의 열용량이 비교적 큰 외단열을 적용하는 것이 유리하다.

(4) Hydronic Thermal Energy System의 난방수요 대응방안으로써 난방수요 변화에 따른 공급열량 조절이 요구된다. 개별난방 방식에서는 생산된 열을 저장한 후 난방수요에 따라 분배설비에서 열량을 조절하는 방식



이 유리하며, 실제적 구현방법으로는 개별세대에서의 난방유량 제어와 단순화 측면에서 thermal buffer tank와 3방 밸브를 이용한 온수온도 조절이 효과적이다. 중앙난방 방식에서는 중앙에서 공급된 열에너지를 단위세대 내의 분배설비에서 즉각적으로 조절하여 공급하는 방식이 유리하며, 단위세대 난방회로의 완전한 분리를 통한 유지관리 용이성과 설비투자를 고려하여 열교환기를 이용한 온수온도 조절이 효과적이다.

(5) 최종적인 열량의 단속(斷續)이 용이하며 불필요한 시간지연을 단축시킬 수 있으므로, 비교적 작은 열시정수를 갖는 건식패널이 난방 및 에너지 소비 측면에서 유리한 건축적 대응방안이다. 또한 건물구조체의 열용량은 쾌적과 에너지 측면에서 상반되는 영향을 미치지만, 난방에너지 소비가 작은 에너지절약형 주거건물에는 난방쾌적을 위해 내부 축 자재의 열용량이 비교적 큰 외단열을 적용하는 것이 효과적이다.

(6) 난방수요 대응을 위한 Hydronic Thermal Energy System의 운전방안으로써, 실온이 설정범위 내로 유지될 때는 외기보상에 의한 공급 온수온도를 적용하고, 실온이 설정범위에 미달할 때는 실온을 설정 값까지 회복시키기 위한 예열부하를 추가로 반영한 공급 온수온도를 적용한 운전이 난방 및 에너지 성능 개선을 위한 효과적인 방안이다.

(7) Hydronic Thermal Energy System 계획 시, 열원에서 생산되는 온수온도는 해당 열원이 담당하는 열 사용설비의 요구조건 중 가장 높은 온수온도 조건으로 산정하되, 급탕설비 적용 시 Legionella Bacteria Growth 방지를 위한 온도(50~60℃)를 고려해야 한다.

---

## 제 6 장 Hydronic Thermal Energy System의 난방수요 대응성능 평가

### 6.1 평가 개요

### 6.2 기존 공동주택에서의 대응성능

### 6.3 에너지절약형 공동주택에서의 대응성능

### 6.4 소결

---

건물에너지 절감을 위한 노력의 결과로 주거건물의 난방부하는 지속적으로 감소해왔으며, 미래 주거건물의 목표 모델로 제시되고 있는 Passive House, Zero Energy House 등의 에너지절약형 주거건물에서의 난방부하는 더욱 작아질 전망이다. 우리나라도 주거건물의 Zero Energy화를 위해 지속적으로 노력해 왔으며, 운전결과 분석을 통해 검증된 해외의 Zero Energy House 사례들과 비교해 볼 때 현재의 국내 공동주택 열관류율 기준을 만족하는 단열수준에서도 주거건물의 Zero Energy 실현 가능성이 매우 높은 것으로 판단된다.

그러나 국내 주거건물의 난방설비는 1970년대에 온수를 이용하는 바닥 복사(온돌)난방이 도입된 이래, 그 구성과 설계변수 값에 큰 변화가 없이 관행적으로 적용되어 왔다. 주거건물의 난방부하 감소와 건축자재 및 난방운전 방식 다양화로 인한 열적 특성 변화를 고려하지 않은 관행적 난방설비 적용은 난방성능 및 쾌적, 에너지 소비문제의 지속적인 대두 요인 중 하나이며, 난방부하가 더욱 작아지며 난방요구도 더욱 다양해 질

것으로 예상되는 에너지절약형 주거건물에서의 난방설비 대응은 난방성능 및 에너지 소비 개선을 위해 더욱 중요한 고려사항이라 할 수 있다.

에너지절약형 주거건물의 난방요구를 고려한 난방설비 대응의 일례로, 에너지절약형 주거건물에서는 감소한 난방부하로 인해 기존의 난방설비에 비해 상대적으로 저온의 열매를 사용하면서도 쾌적을 달성할 수 있는 가능성이 높아졌으며, 이로 인해 열원설비도 난방부하와 운전 요구조건을 고려하여 재검토 되고 있다.

특히, 작아진 난방부하로 인해 요구되는 열원용량은 감소하고 있으나, 소형열원 생산을 위한 산업여건 미비와 열원사용 특성 상 발생하는 운전효율 저하 개선 필요성 등으로 인해 단순히 열원용량을 줄이는 것을 통해서만 난방 및 에너지 성능 개선에 한계가 있어, 여전히 난방부하에 비해 큰 용량의 열원이 적용되는 경우가 빈번하다. 이로 인해 오히려 난방불쾌적 문제가 대두되거나, 운전효율 저하에 의한 에너지 소비 증가로 인해 Zero Energy House 실현을 어렵게 하는 현상도 나타나고 있다. 이러한 현상을 개선하기 위해, 급탕과 난방처럼 동일한 열원을 사용할 수 있는 열 사용설비들의 열원을 통합하여 적용하고자 하는 시도들이 있다.

그러나 통합열원을 적용하는 경우에도 통합열원이 담당하는 다양한 열 사용설비들이 요구하는 공급조건이 다를 뿐 아니라, 동일한 열 사용설비에서도 상황에 따라 다른 조건의 열 공급이 요구되기도 한다.

따라서 다양한 열적 요구에 난방설비가 적절하게 대응하여 본래의 설치목적을 달성하면서 에너지 소비를 저감할 수 있는 설비구성과 운전에 대한 고려와 방안이 필요하다.

이러한 상황은 에너지절약형 주거건물에서 뿐 아니라 현재 국내 주거 건물에서도 나타난다. 개별 가스보일러를 주로 사용하는 개별난방 방식의 경우, 하나의 열원(가스보일러)으로 급탕과 난방을 동시에 해결하며, 비교적 처리해야 할 열 부하가 큰 급탕을 기준으로 열원이 결정된다. 따라서 난방운전 중 단위시간당 공급열량의 과잉으로 인한 과열현상과 불필요한 열의 공급에 의한 에너지 낭비 등의 우려가 있다.

뿐만 아니라 지역난방 열원을 이용하는 중앙난방 방식에서도 담당해야 할 여러 세대의 난방요구가 다양함으로 인해 개별 단위세대의 요구를 충족시키지 못하는 사례가 빈번하다.

따라서 난방수요 대응을 통한 난방 및 에너지 성능 개선을 위해 본 연구에서 제안한 Hydronic Thermal Energy System 구성과 난방수요 대응방안은 에너지절약형 주거건물 뿐 아니라 기존 주거건물의 난방수요 변화에도 적절하게 대응할 수 있어야 하며, 개별난방 뿐 아니라 중앙난방 방식의 열원구성 방식에서도 그 대응성능이 검증되어야 한다. 또한 외기조건과 함께 난방수요 변화에 영향을 미치는 난방 운전형태에 따른 대응성능도 검증되어야 한다.

본 장에서는, 제안된 Hydronic Thermal Energy System 구성안과 난방수요 대응방안을 적용함으로써 나타나는 난방운전 및 열적 거동, 에너지 소비 특성 분석을 통해, 기존 및 에너지절약형 주거건물에서의 Hydronic Thermal Energy System의 난방수요 대응성능을 평가하여 그 적용 타당성을 분석하였다.

## 6.1 평가 개요

5장에서는 난방수요 변화에 대응하기 위해 난방설비에 요구되는 조건을 난방수요 영향인자별로 구분하여 분석한 후, 각 요구조건을 충족하기 위한 설비적인 방안과 영향인자와 관련하여 선택·적용 가능한 건축적인 방안을 제시하였다. 또한 기존 기술 분석과 정량적 평가를 통해, 요구조건 충족을 위한 설비적인 방안으로서의 Hydronic Thermal Energy System 구현방안을 개별난방 방식과 지역난방 방식으로 구분하여 제시하였으며, 난방수요 대응을 위한 Hydronic Thermal Energy System의 운전방안도 제안하였다.

본 장에서는 이렇게 제시된 Hydronic Thermal Energy System 구성과 난방수요 대응방안의 적용 효과를 분석하였으며, 난방수요 대응성능을 고려한 난방설비의 난방 및 에너지 성능 개선 대안 도출을 위해 난방수요 영향인자에 따른 난방운전 및 열적 거동 특성 분석에 적용했던 평가체계(3장 및 4장)를 적용하였다.

### 6.1.1 평가조건 및 항목

에너지절약형 주거건물에서의 난방수요 변화에 대한 난방설비 대응을 통한 난방 및 에너지 성능 개선을 위해 Hydronic Thermal Energy System (HTES)을 제안하였으나, 제안된 HTES은 에너지절약형 주거건물 뿐 아니라 기존 주거건물에서의 난방수요 특성도 반영하여 도출된 대응방안이므로, 기존 주거건물에서도 난방수요 변화에 대한 대응을 통한 난방 및 에너지 성능 개선을 기대할 수 있다. 따라서 HTES의 적용 타당성 평가는

에너지절약형 주거건물과 기존 주거건물을 대상으로 수행하였으며, 기존(현행) 및 에너지절약형 주거건물의 구성과 형태, 열적 특성은 3장에 제시된 내용과 4장의 평가에 사용된 정보를 동일하게 적용하였다.

난방부하의 크기와 시간에 따른 변화는 서울지역의 표준기상데이터를 통한 외기조건으로 반영하였으며, 외기조건과 함께 난방수요 변화에 영향을 미치는 인자인 난방운전 형태는 연속운전과 간헐운전을 각각 적용하여 평가하였다. 연속운전은 세대 구성원의 재실여부와 무관하게 24시간 내내 실내온도를 설정범위 내로 유지하기 위한 난방운전이 이루어지도록 설정하였다. 또한 간헐운전의 경우, 08시~20시까지 모든 세대 구성원이 재실하지 않는 것을 가정하여 해당 시간동안에는 난방을 정지하는 것으로 설정하였으며, 그 이외의 시간동안에는 연속운전과 동일하게 운전되는 것으로 가정하였다.

수요대응 영향인자 중 공급 온수온도 조건은 기존 및 에너지절약형 주거건물을 대상으로 적용되는 HTES의 설비적인 대안으로 반영하여 평가하였다. 또 다른 수요대응 영향인자인 바닥 복사난방 패널 및 건물 구조체의 열적 특성은 선택 가능한 건축적인 대안으로 반영하였으며, 전형적인 주거건물 난방설비의 난방운전 및 열적 거동, 에너지 소비 특성과의 비교를 통한 HTES의 적용 타당성 검증을 위해 기존 주거건물에는 현재 일반적으로 적용되는 습식 바닥 복사난방 패널과 내단열 방식을 기본 구성으로 반영하여 평가하였다. 한편 에너지절약형 주거건물에 대한 표준적인 구성 및 난방설비라고 할 수 있는 표본이 존재하는 상황이 아니므로, 4장 및 5장의 분석 내용에 의거 에너지절약형 주거건물에서 난방운전 및 에너지 소비 측면에서 유리한 건식 바닥 복사난방 패널과 외단열 방식을

평가 대상 에너지절약형 주거건물의 기본 구성으로 반영하여 평가하였다.

Hydronic Thermal Energy System의 난방수요 대응성능에 대한 주요 평가조건은 표 6.1과 같으며, 상세 정보는 3장에 제시하였다.

표 6.1 Hydronic Thermal Energy System의 적용 타당성 평가조건

구 분	반영 방법 또는 입력 값	
	기존 공동주택	에너지절약형 공동주택
난방부하 감소		
난방운전 형태	-연속운전, 간헐운전 (설정온도 $20\pm0.5^{\circ}\text{C}$ ) -간헐운전 시 가동 시간 : 20시~익일 08시	
설계 난방부하( $\text{W}/\text{m}^2$ )	47	20
바닥 난방패널	습식 바닥 복사난방 패널 -배관 관경 : 15mm -배관 간격 : 200mm	건식 바닥 복사난방 패널 -배관 관경 : 9mm -배관 간격 : 150mm
단열방식	내단열	외단열

제안된 HTES의 구성과 운전방안에 의한 난방수요 대응성능은 기존 및 에너지절약형 주거건물에서 연속 및 간헐운전을 적용함에 따라 나타나는 난방운전 및 열적 거동, 에너지 소비 특성을 통해 판단하였다. 3.2절에서 제시한 것처럼, 실내온도 분포 및 바닥 표면온도 분포에 의한 난방성능과 난방에너지 소비량 및 난방설비 운전 빈도에 의한 난방에너지 소비 특성을 성능평가 항목으로 선정하였다.

평가는 EnergyPlus(ver. 8.6)을 이용하여 겨울철(11월~3월, 총 5개월)에 대한 열 및 에너지 simulation을 수행하여 진행하였다.

### 6.1.2 평가대상 Hydronic Thermal Energy System 계획

제안된 Hydronic Thermal Energy System의 구성과 운전방안에 의한 난방수요 대응방안 평가를 위해서는 기존 및 에너지절약형 주거건물에 실제 적용이 가능한 구체적인 설비구성이 요구된다. 따라서 정성적 평가를 통해 제시(5.3절)한 HTES의 구성방향을 실제적으로 구현할 수 있는 설비구성을 열원방식 별로 계획하였다. 본 장의 계통 구성은 HTES 구성 개념을 적용한 일례에 해당되며, 구성 개념이 적용된 또 다른 실제적 계통 구성이 가능하다.

순간 가열방식 개별 가스보일러를 주로 사용하는 개별난방 방식을 위한 HTES는 난방운전 중 지속적으로 변화하는 난방수요 뿐 아니라 급탕과 같은 다른 열 사용설비에서의 요구조건 등 다양한 공급 열매조건 충족을 위해 분배설비에서의 전달 열량조절이 효과적이다. 또한 순간 가열방식 개별 가스보일러의 운전 특성 상, 안정적이고 지속적인 열매공급을 위해 열원(가스보일러)에서 생산된 열량을 저장 후 필요 시 공급하는 방안이 타당한 것으로 제안하였다.

이러한 HTES 구성방향을 구현하기 위해 기존 개별난방 계통에 축열수조(thermal buffer tank)를 포함하였으며, 공급 온수온도 조절을 통한 공급열량 조절을 위한 구성 설비(component)는 개별세대 내의 설비 점유면적과 계통 구성의 단순성을 고려하여 3방 혼합밸브(3-way mixing valve)를 적용하는 것으로 계획하였다.

순간 가열방식 가스보일러를 사용하는 개별난방 방식을 위한 HTES 계획 결과, 그 계통을 그림 6.1에 나타내었다.



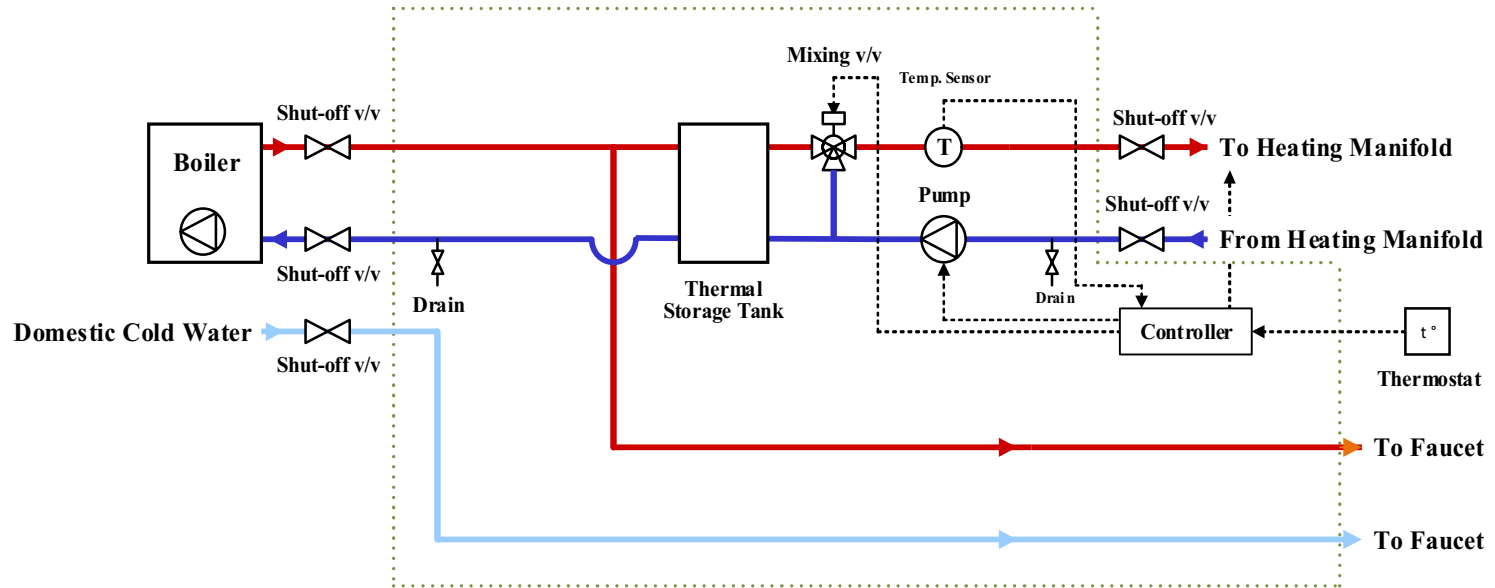


그림 6.1 개별 난방방식 적용을 위한 HTES 계통(난방부하 기준 Thermal Storage)

개별난방 방식을 위해 계획한 HTES 계통은 공급 열량 조절을 위한 thermal buffer tank를 포함하고 있는데, 본 연구에서는 난방용 buffer tank의 일반적인 계획 방법을 적용하여 용량을 결정<sup>127)</sup>하였다.

$$V = \frac{t(Q_{heat\ source} - q_{load})}{500 \Delta T} \quad (6.1)$$

여기서,  $V$  : buffer tank의 용량, [gallons]

$t$  : 열원의 1회 가동시간, [min]

$Q_{heat\ source}$  : 열원의 출력, [Btu/hr]

$q_{load}$  : 단위시간당 buffer tank에서 처리하는 부하( $q_{load} \geq 0$ ), [Btu/hr]

$\Delta T$  : buffer tank 내 온수의 제어편차

중앙난방 방식 중 최근 그 적용이 증가하고 있는 지역난방 열원을 이용하는 중앙난방 방식을 위한 HTES는 기존의 지역난방 공급망을 그대로 활용하면서 개별 단위세대의 난방수요 변화에 따라 단위세대에 요구되는 공급 온수온도 조건으로 개별적 조절이 가능한 분배설비가 요구된다.

지역난방 플랜트로부터 공급받은 열매를 공동주택 단지의 기계실(sub-station)에서 1차적으로 열 교환하여 개별 단위세대에 공급하는 난방설비 계통 특성 상, 중앙설비와 단위세대 설비의 수력학적 분리를 통한 세대 내 설비에 요구되는 허용압력 저감 효과 및 단위세대 설비의 시공 및 유지관리 편의성 등을 고려하여, 공급 온수온도의 개별 단위세대 조절이 가능한 판형 열교환기를 포함하는 것으로 계획하였다.

---

127) John Siegenthaler. op. cit., p.665.

개별 가스보일러와 달리, 지역난방 열원을 이용하는 중앙난방 방식에서는 서로 다른 요구조건의 난방과 급탕을 위해 단지 중앙 기계실(substation)에 난방과 급탕을 위한 별도의 열교환기를 설치하고 각각의 배관 계통으로 단위세대에 난방온수와 급탕온수를 공급하고 있다. 그러나 본 연구에서 제안한 HTES는 단위세대 별 열 교환을 통해 다양하게 요구되는 온도조건의 온수를 생산할 수 있으므로, 중앙 기계실로부터 하나의 배관 계통을 이용하여 단위세대에 온수를 공급하고, 이 온수를 세대 내 HTES에 포함된 판형 열교환기를 이용해 필요한 난방온수와 급탕온수를 생산하여 활용할 수 있다.

따라서 중앙난방 방식을 위한 HTES는 난방과 급탕을 위한 각각의 독립적인 세대 내 판형 열교환기를 포함하며, 각 열 교환기 전단(up-stream)에는 중앙에서 공급되는 온수의 유량을 조절하여 열 교환기 후단(downstream)에서 출수되는 온수의 온도를 조절하기 위한 2방 조절밸브(2-way control valve)를 포함하는 것으로 계획하였다. 또한 난방온수 순환을 위해 난방 열교환기 후단에 순환펌프를 반영하였다.

한편, 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 중앙에서 단위세대로 공급하는 관망에서의 유량 밸런싱(hydraulic balancing) 문제 개선을 위한 기존 연구결과<sup>128)</sup>를 고려하여, 인접세대의 난방 또는 급탕 사용 여부에 따른 세대 유량 편중 및 변동을 방지함으로써 안정적인 공급열량 제어 성능을 보장하기 위해 세대 내 난방 및 급탕 열 교환기 전단에 각각 차압유량조절밸브(PDCV, Pressure Differential Control Valve)를 설치하는 것으로 계통을 구성하였다.

지역난방 열원을 이용하는 중앙난방 방식을 위한 HTES 계획 결과, 그 계통을 그림 6.2에 나타내었다.

---

128) 김화국, op. cit.

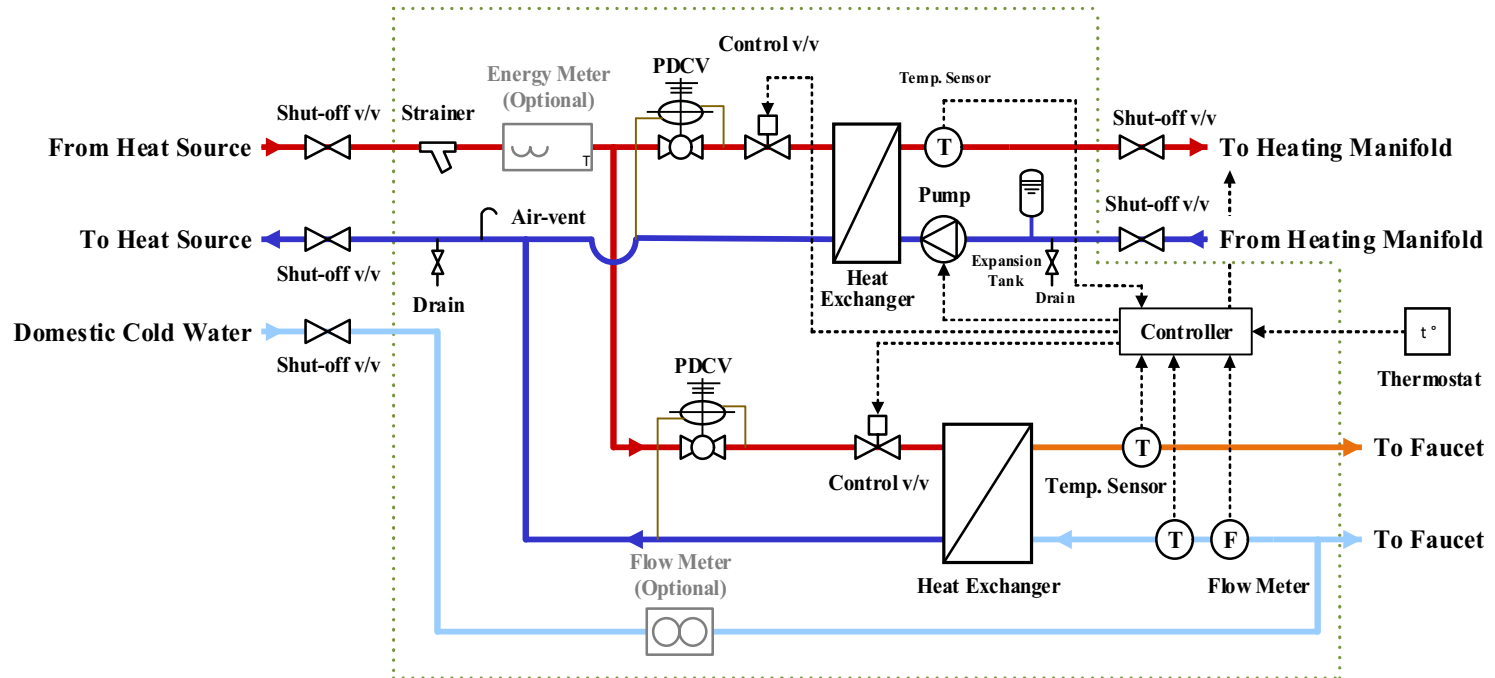


그림 6.2 지역난방 열원을 이용하는 중앙 난방방식 적용을 위한 HTES 계통

한편, 개별난방 방식과 중앙난방 방식의 열원 특성 상 분배 계통은 약간 차이가 있으나, 난방수요 변화에 대응하여 단위시간당 공급열량을 조절하는 원리는 개별난방 및 중앙난방에 동일하게 적용되는 개념이다. 따라서 본 연구에서는 순간 가열방식 개별 가스보일러를 사용하는 개별난방 방식을 대상으로 HTES의 구성과 운전방안의 적용 타당성을 검증하였다.

그러므로 본 장의 평가에 사용된 HTES는 그림 6.1에 제시된 계통을 그대로 적용하였으며, 난방요구와 함께 급탕요구를 고려하여 가스보일러에서 출수되는 설계 공급 온수온도는 60℃로 산정하여 활용하였다.

기존 및 에너지절약형 공동주택의 난방설비 관련 기타 정보는 표 3.6 및 표 4.8에 제시된 정보와 같다.

## 6.2 기존 공동주택에서의 대응성능

제안된 Hydronic Thermal Energy System(HTES)의 구성과 운전방안의 기존(현행) 주거건물에서의 난방수요 변화에 대한 대응성능을 평가하기 위해, 습식 바닥 복사난방 패널과 내단열이 적용된 전형적인 현행 공동주택에서 연속운전 및 간헐운전 시 HTES의 운전 및 열적 거동 특성과 에너지 소비 특성을 분석하였다.

HTES의 구성과 운전방안의 난방수요 대응성능 분석을 위한 실내온도, 실내 작용온도, 바닥 표면온도는 단위세대를 대상으로 수행한 simulation 결과 중 단위세대 내 침실 중 하나(침실 3)를 대표 공간으로 선정하여 분석한 결과를 제시하였으며, 가스소비량과 순환펌프 전력 소비량에 의한 난방에너지 소비량은 세대 전체에 해당되는 결과를 제시하였다.

1일 중 재실시간은 20시부터 익일 08시까지 총 12시간이며, 실내온도는  $20\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 로 설정하여 제어하였으므로 실내 설정온도 상한과 하한은 각각  $20.5^{\circ}\text{C}$ 와  $19.5^{\circ}\text{C}$ 이다.

### 6.2.1 연속운전 중 난방 및 에너지 소비 특성

연속운전을 수행하고 있는 기존 공동주택에 제안된 HTES 구성과 운전방안 적용 시, 외기온도가 가장 낮은 날을 중심으로 5일간(1월 13일~17일)을 통해 비교적 난방부하가 큰 기간의 난방운전 특성을 분석하였으며, 외기온도가 영상과 영하를 모두 나타내는 5일간(12월 8일~12일)을

통해 난방부하의 변동 폭이 큰 기간의 난방운전 특성을, 마지막으로 외기온도가 주로 영상을 유지하는 기간을 중심으로 5일간(12월 17일~21일)을 통해 난방부하가 비교적 작은 기간의 난방운전 특성을 분석하였다. 난방부하의 크기 변화에 따른 각 기간의 난방성능 분석을 위해 외기온도, 실내온도, 바닥 표면온도, 실내 작용온도 분포와 바닥 복사난방 시스템의 운전 상태를 그림 6.3~6.5에 나타내었다.

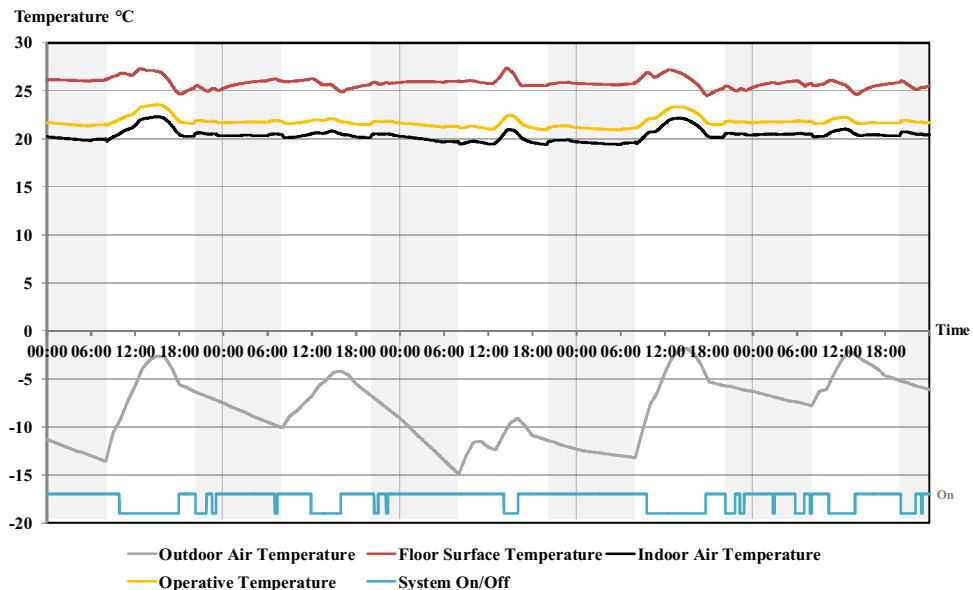


그림 6.3 연속운전 중 외기온도가 가장 낮은 기간의 난방운전 특성(기준)

HTES 구성안과 운전방안을 적용하여 연속운전을 수행하고 있는 기존 공동주택에서 외기온도가 가장 낮은 기간(1월 13일~17일)의 난방운전 특성(그림 6.3)을 보면, 비교적 큰 난방부하에도 불구하고 운전 중 실내온도가 설정온도 범위 내로 잘 유지되고 있는 것을 확인할 수 있으며, 실온변동 폭도 크지 않은 것을 확인할 수 있다.

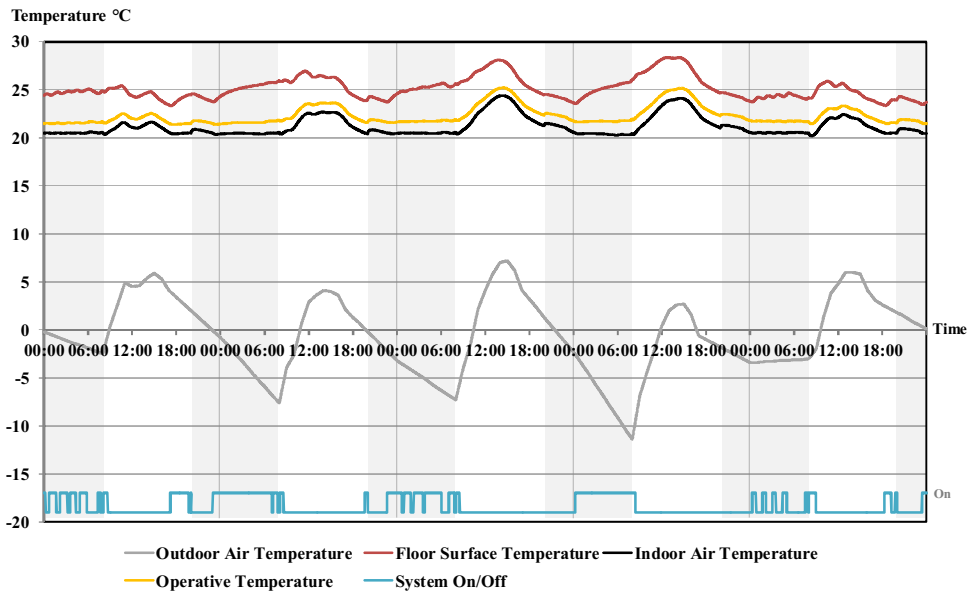


그림 6.4 연속운전 중 외기온도 변동 폭이 큰 기간의 난방운전 특성(기준)

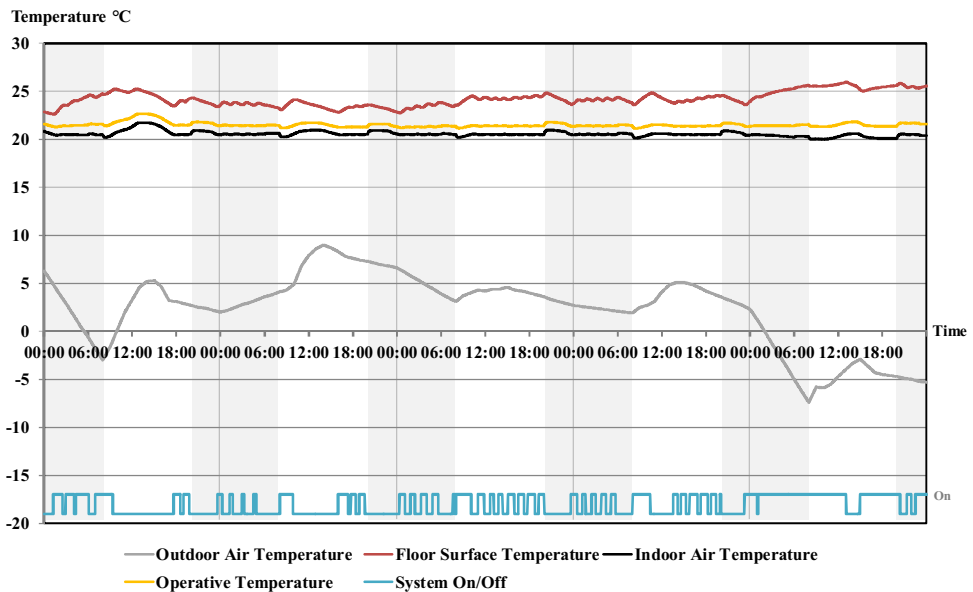


그림 6.5 연속운전 중 외기온도가 온화한 기간의 난방운전 특성(기준)



한편, 영상과 영하의 외기온도를 모두 나타냄으로써 난방부하의 변동 폭이 비교적 큰 기간(12월 8일~12일)에도 운전 중 실내온도가 설정온도 범위 내로 잘 유지되었으며, 실온변동 폭도 크지 않은 것을 그림 6.4를 통해 확인할 수 있다.

또한 외기온도가 주로 영상의 온화한 온도를 유지함으로써 비교적 난방부하가 작은 기간(12월 17일~21일)의 실내온도는 설정범위 내에서 매우 안정적인 상태를 지속적으로 유지(그림 6.5)하였다.

대표적인 난방부하 크기와 특성을 나타내는 각 기간의 연속운전 중인 공동주택에서의 실내온도 분포를 볼 때, 비교적 안정적으로 설정온도 범위를 유지하여 적절한 난방성능을 발휘한 것으로 나타났다. 따라서 적용된 HTES의 구성과 운전방안의 난방부하에 대한 대응이 비교적 양호하게 이루어졌다고 판단된다.

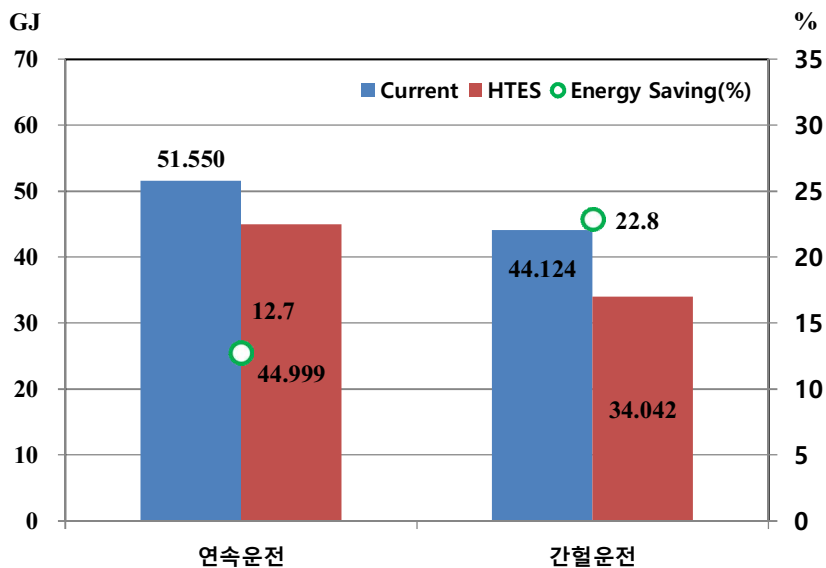


그림 6.6 기존 공동주택에서 HTES 적용 시 에너지 소비 저감 효과

기존 공동주택에서 현재 일반적으로 적용되는 난방설비를 적용했을 때와 HTES를 적용했을 때의 연속운전 적용 시 난방에너지 사용량(그림 6.6)을 볼 때, 현재 공동주택에서 일반적으로 적용되고 운전되는 난방설비에 비해 약 13%의 난방에너지 저감 효과가 있는 것으로 나타났다.

이상의 결과들을 종합할 때, 연속운전이 채택된 기존 공동주택에 HTES 구성과 운전방안 적용 시 난방 및 에너지 성능 개선이 가능한 것으로 나타났다.

### 6.2.2 간헐운전 중 난방 및 에너지 소비 특성

간헐운전을 수행하고 있는 기존 공동주택에서 난방부하가 가장 큰 기간(1월 13일~17일), 난방부하 변동 폭이 비교적 큰 기간(12월 8일~12일), 난방부하가 비교적 작은 기간(12월 17일~21일)의 난방운전 특성을 분석하여 난방부하의 크기 및 특성에 따른 HTES의 적용효과를 분석하였다. 그림 6.7~6.9에 각 기간의 외기온도, 실내온도, 바닥 표면온도, 실내 작용온도 분포를 나타내었다.

HTES의 구성과 운전방안을 적용하여 간헐운전을 수행하고 있는 기존 공동주택에서 외기온도가 가장 낮은 기간(1월 13일~17일), 즉 난방부하가 비교적 큰 기간(그림 6.7)의 실내온도는 설정범위보다 낮은 온도를 나타냈으며, 난방중단 후 재가동 시 실내 설정온도 회복에도 제한이 있는 것으로 나타났다. 이는 바닥 복사난방 시스템 설계 시 가정한 설계 외기온도가  $-11^{\circ}\text{C}$ 인데 반해, 해당 기간에는  $-15^{\circ}\text{C}$ 까지 하강함으로써 열원에서 공급할 수 있는 최대 열량을 초과했기 때문인 것으로 분석된다.

또한 적용된 외기보상이 비교적 열용량이 큰 습식 바닥 복사난방 패널의 축열 특성으로 인한 반응속도 지연에 대응하지 못한 결과로도 판단되며, 따라서 외기보상 적용 시 외기온도와 바닥 복사난방 패널의 축열뿐 아니라 건물 및 바닥 복사난방 패널의 열용량에 의한 시간지연(반응속도 지연)을 고려한 공급 온수온도 적용이 필요한 것으로 나타났다.

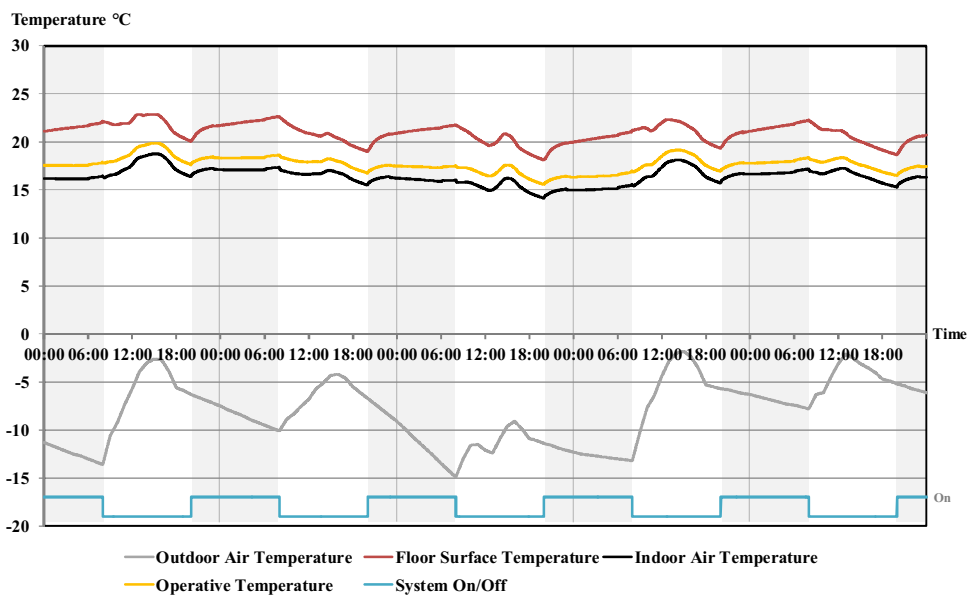


그림 6.7 간헐운전 중 외기온도가 가장 낮은 기간의 난방운전 특성(기존)

그러나 난방부하의 크기가 설계 난방부하의 크기보다 작지만 난방부하 변동 폭이 비교적 큰 기간((12월 8일~12일, 그림 6.8)이나 비교적 난방부하가 작은 기간(12월 17일~21일, 그림 6.9)의 난방운전 중 실내온도는 설정범위 내로 잘 유지되었으며, 실온변동 폭도 크지 않은 것으로 나타났다.

특히 난방중단 후 재가동 시 온도상승이 빠르게 진행되어 실내온도 설정범위에 도달하는 것을 확인할 수 있다.

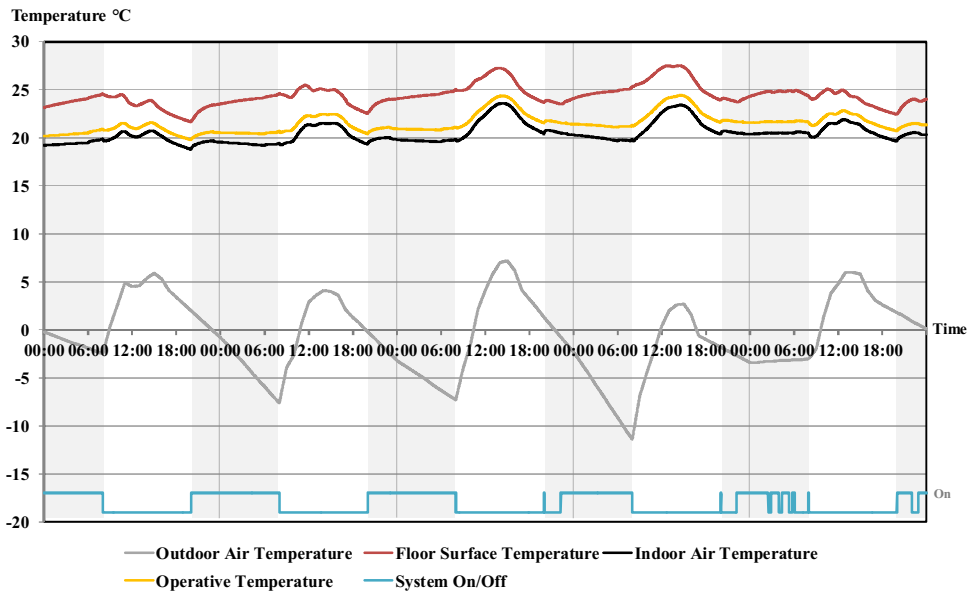


그림 6.8 간헐운전 중 외기온도 변동 폭이 큰 기간의 난방운전 특성(기준)

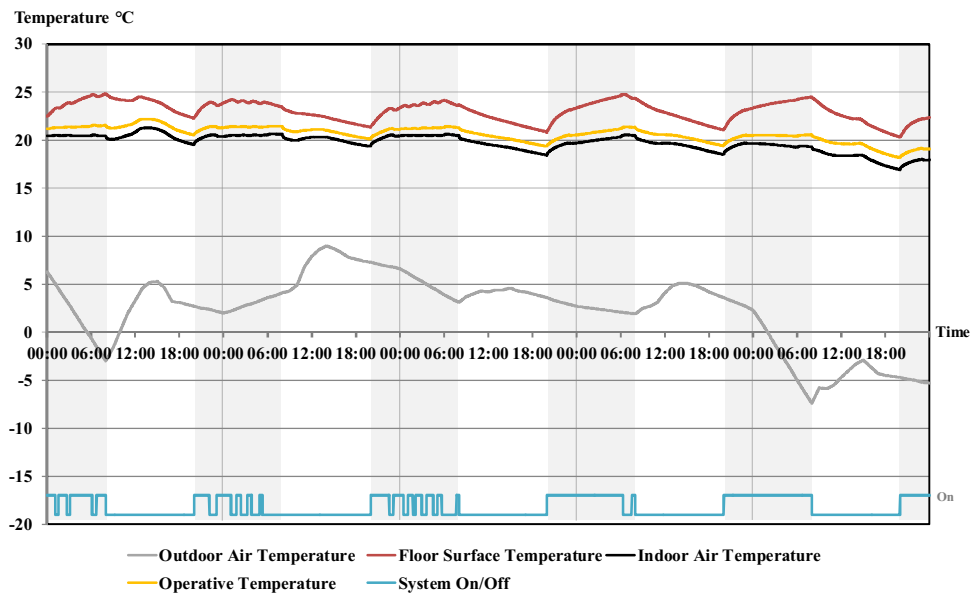


그림 6.9 간헐운전 중 외기온도가 온화한 기간의 난방운전 특성(기준)

대표적인 난방부하 크기와 특성을 나타내는 각 기간의 간헐운전 중인 공동주택에서의 실내온도 분포를 볼 때, 비교적 안정적으로 설정온도 범위를 유지하여 적절한 난방성능을 발휘한 것으로 판단되며, 따라서 적용된 HTES의 구성과 운전방안에 의한 난방수요에 대한 대응이 비교적 양호하게 이루어졌다고 판단된다.

그러나 난방부하가 비교적 큰 경우의 난방수요 대응성능 개선을 위해 바닥 복사난방 패널의 열용량에 의한 시간지연을 고려한 공급 온수온도 산정의 필요성이 있는 것으로 판단된다.

기존 공동주택에서 현재 일반적으로 적용되는 난방설비를 적용했을 때와 HTES를 적용했을 때의 간헐운전 적용 시 난방에너지 사용량(그림 6.6)을 볼 때, 현재 공동주택에서 일반적으로 적용되고 운전되는 난방설비에 비해 약 23%의 난방에너지 저감 효과가 있는 것으로 나타났다.

이상의 결과들을 종합할 때, 간헐운전이 채택된 기존 공동주택에 HTES와 운전방안 적용 시 난방 및 에너지 성능의 개선이 가능한 것으로 나타났다.

## 6.3 에너지절약형 공동주택에서의 대응성능

제안된 Hydronic Thermal Energy System(HTES)의 구성과 운전방안의 에너지절약형 주거건물에서의 난방수요 변화에 대한 대응성능을 평가하기 위해, 건식 바닥 복사난방 패널과 외단열이 적용된 에너지절약형 공동주택을 대상으로 HTES와 운전방안을 적용한 연속운전 및 간헐운전 시 난방운전 및 열적 거동 특성과 에너지 소비 특성을 분석하였다.

HTES 구성안과 운전방안의 난방수요 대응성능 분석을 위한 실내온도, 실내 작용온도, 바닥 표면온도는 단위세대를 대상으로 수행한 simulation 결과 중 단위세대 내 침실 중 하나(침실 3)를 대표 공간으로 선정하여 분석한 결과를 제시하였으며, 가스소비량과 순환펌프 전력 소비량에 의한 난방에너지 소비량은 세대 전체에 해당되는 결과를 제시하였다.

기존 공동주택에서와 마찬가지로, 1일 중 재실시간은 20시부터 익일 08시까지 총 12시간으로 설정하였으며, 실내온도는  $20\pm0.5^{\circ}\text{C}$ 로 설정하여 제어하였다.

### 6.3.1 연속운전 중 난방 및 에너지 소비 특성

연속운전을 수행하고 있는 분석대상 에너지절약형 공동주택에서 외기온도가 가장 낮은 날을 중심으로 5일간(1월 13일~17일)을 이용하여 비교적 난방부하가 큰 기간의 난방운전 특성을 분석하였으며, 외기온도가 영상과 영하를 모두 나타내는 5일간(12월 8일~12일)을 통해 난방부하의 변동 폭이 큰 기간의 난방운전 특성을, 마지막으로 외기온도가 주로 영상

을 유지하는 기간을 중심으로 5일간(12월 17일~21일)을 통해 난방부하가 비교적 작은 기간의 난방운전 특성을 분석하였다. 난방부하의 크기 변화에 따른 각 기간의 난방성능 분석을 위해 외기온도, 실내온도, 바닥 표면 온도, 실내 작용온도 분포와 바닥 복사난방 시스템의 운전 상태를 그림 6.10~6.12에 나타내었다.

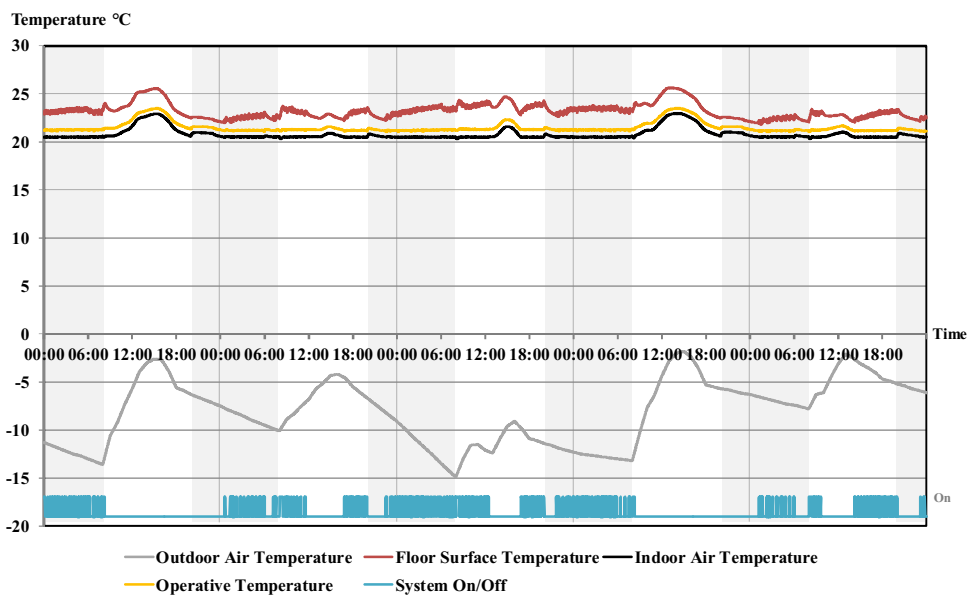


그림 6.10 연속운전 중 외기온도가 가장 낮은 기간의 난방운전 특성(에너지절약형)

제안된 HTES와 운전방안을 적용하여 연속운전을 수행하고 있는 에너지절약형 공동주택에서 외기온도가 가장 낮은 기간(1월 13일~17일, 그림 6.10)의 난방운전 중 실내온도가 설정온도 범위 내로 잘 유지되었으며, 실온변동 폭도 크지 않은 것을 확인할 수 있다.

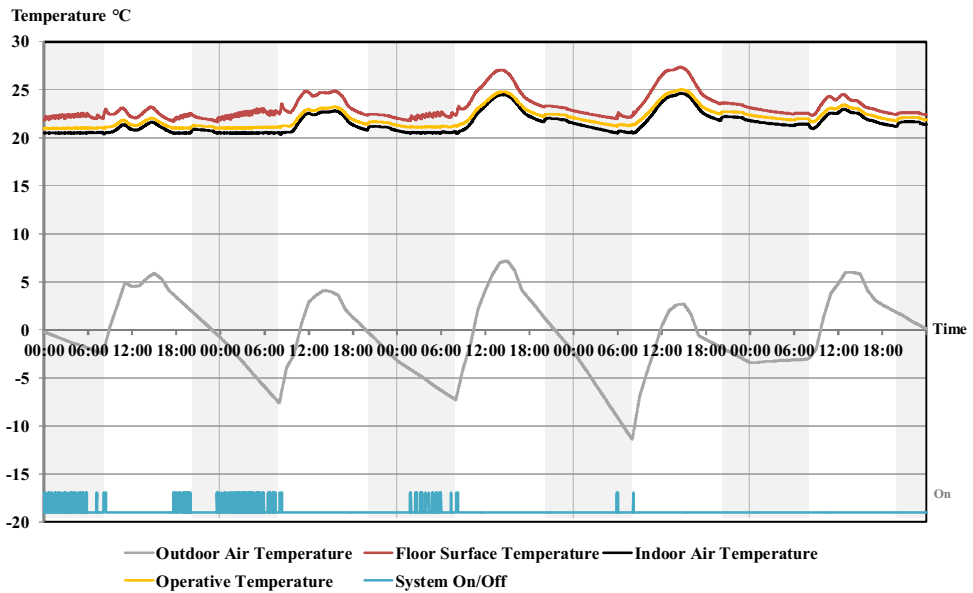


그림 6.11 연속운전 중 외기온도 변동 폭이 큰 기간의 난방운전 특성(에너지절약형)

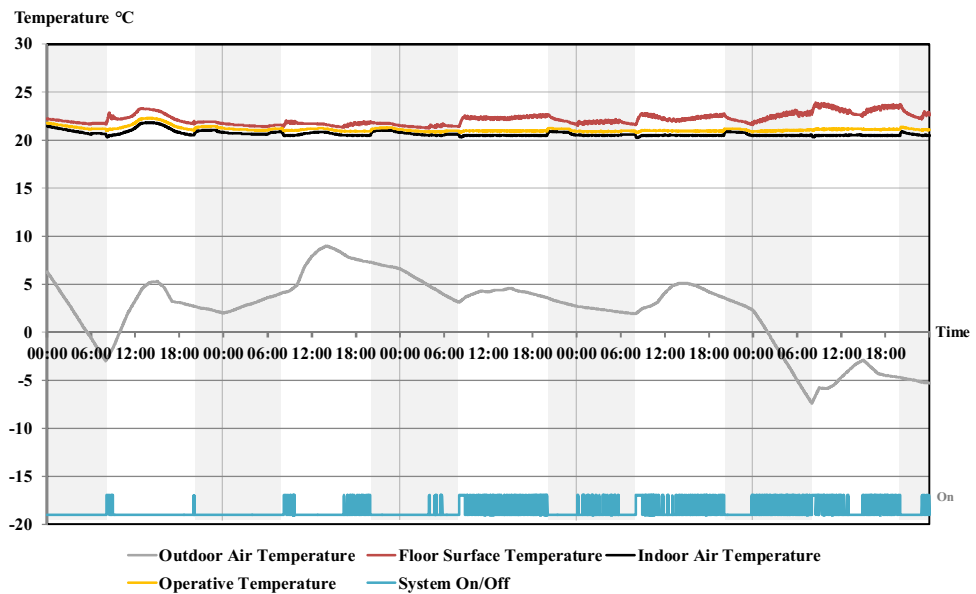


그림 6.12 연속운전 중 외기온도가 온화한 기간의 난방운전 특성(에너지절약형)



한편, 영상과 영하의 외기온도를 모두 나타냄으로써 난방부하의 변동 폭이 비교적 큰 기간(12월 8일~12일)에도 운전 중 실내온도가 설정온도 범위 내로 잘 유지되었으며, 실온변동 폭도 크지 않은 것을 그림 6.11을 통해 확인할 수 있다.

또한 외기온도가 주로 영상의 온화한 온도를 유지함으로써 비교적 난방부하가 작은 기간(12월 17일~21일)의 실내온도는 설정범위 내에서 매우 안정적인 상태를 지속적으로 유지(그림 6.12)하였다.

대표적인 난방부하 크기와 특성을 나타내는 각 기간의 연속운전 중인 에너지절약형 공동주택에서의 실내온도 분포를 볼 때, 비교적 안정적으로 설정온도 범위를 유지하여 적절한 난방성능을 발휘한 것으로 나타났다. 따라서 적용된 HTES 구성과 운전방안의 난방부하에 대한 대응이 비교적 양호하게 이루어졌다고 판단된다.

특히 기존 공동주택에 적용했을 때에 비해 실내온도의 변동 폭이 매우 안정적인 것을 볼 수 있는데, 이는 습식 바닥 복사난방 패널과 건식 바닥 복사난방 패널의 공급 열량 단속(斷續) 특성 차이에서 기인한 것으로 판단된다.

에너지절약형 공동주택에서, 기존의 방식대로 내단열 및 건식 바닥 복사난방 패널을 적용한 경우와 외단열 및 건식 바닥 복사난방 패널을 적용한 경우와 HTES를 적용하는 동시에 외단열 및 건식 바닥 복사난방 패널을 적용했을 때의 연속운전 적용 시 난방에너지 사용량(그림 6.13)을 볼 때, 기존의 방식대로 내단열 및 건식 바닥 복사난방 패널을 적용한 경우와 외단열 및 건식 바닥 복사난방 패널을 적용한 경우에 비해 약 9% 정도의 에너지 저감 효과가 있는 것으로 나타났다.

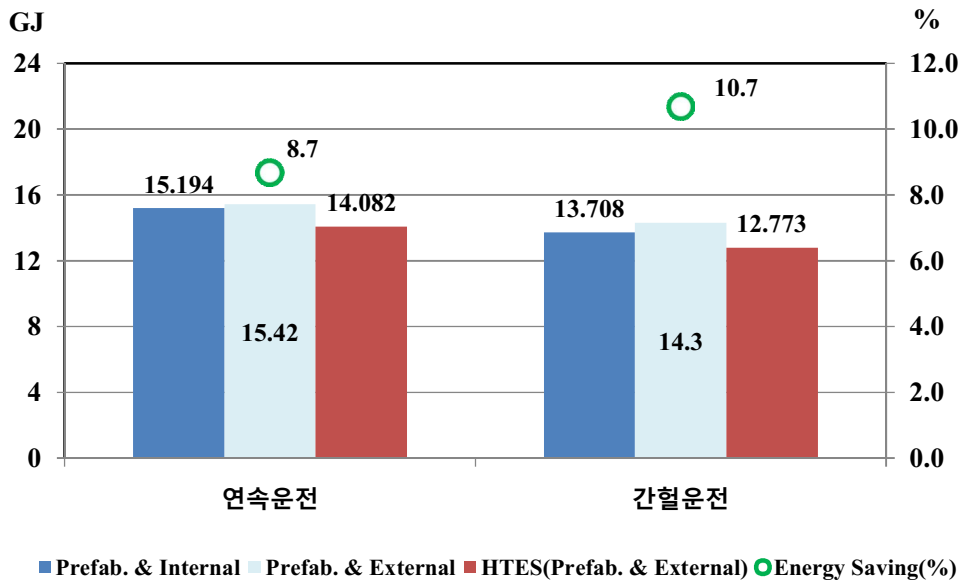


그림 6.13 에너지절약형 공동주택에서 HTES 적용 시 에너지 소비 저감 효과

이상의 결과들을 종합할 때, 연속운전이 채택된 에너지절약형 공동주택에 HTES 적용 시 난방 및 에너지 성능의 개선이 가능한 것으로 나타났다.

### 6.3.2 간헐운전 중 난방 및 에너지 소비 특성

간헐운전을 수행하고 있는 에너지절약형 공동주택에서 난방부하가 가장 큰 기간(1월 13일~17일), 난방부하 변동 폭이 비교적 큰 기간(12월 8일~12일), 난방부하가 비교적 작은 기간(12월 17일~21일)의 난방운전 특성을 분석하여 난방부하의 크기 및 특성에 따른 HTES의 적용효과를 분석하였다. 그림 6.14~6.6에 각 기간의 외기온도, 실내온도, 바닥 표면온도, 실내 작용온도 분포를 나타내었다.

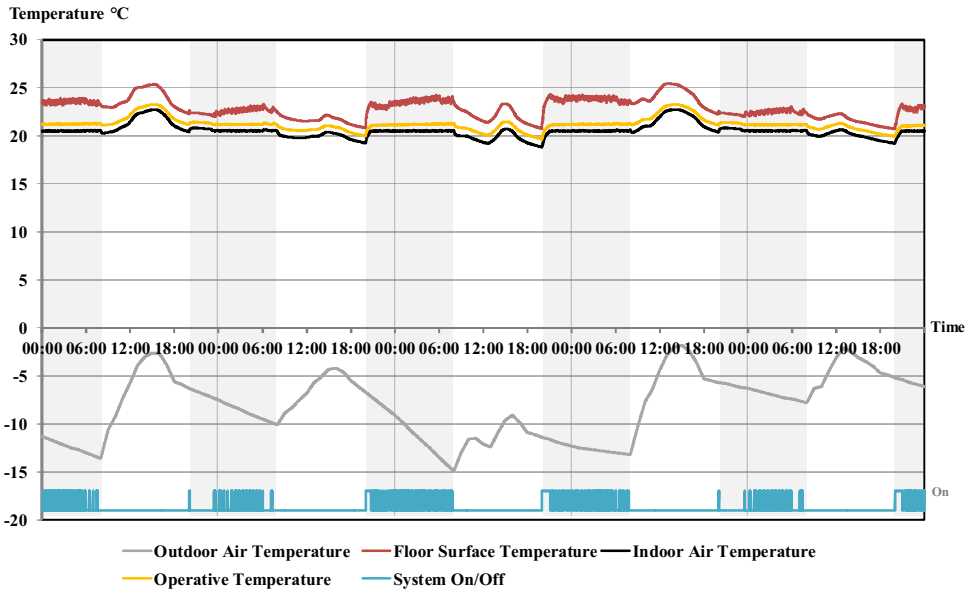


그림 6.14 간헐운전 중 외기온도가 가장 낮은 기간의 난방운전 특성(에너지절약형)

제안된 HTES와 운전방안을 적용하여 간헐운전을 수행하고 있는 에너지절약형 공동주택에서 외기온도가 가장 낮은 기간(1월 13일~17일, 그림 6.14)의 실내온도는 설정범위 내로 안정적으로 유지되었으며, 난방중단 후 재가동 시 실내 설정온도 회복도 매우 빠른 것으로 나타났다.

또한, 난방부하 변동 폭이 비교적 큰 기간((12월 8일~12일, 그림 6.15)이나 비교적 난방부하가 작은 기간(12월 17일~21일, 그림 6.16)의 난방운전 중 실내온도도 설정범위 내로 잘 유지되었으며, 실온변동 폭도 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 난방중단 후 재가동 시 온도상승이 빠르게 진행되어 실내온도 설정범위에 도달하는 것을 확인할 수 있다.

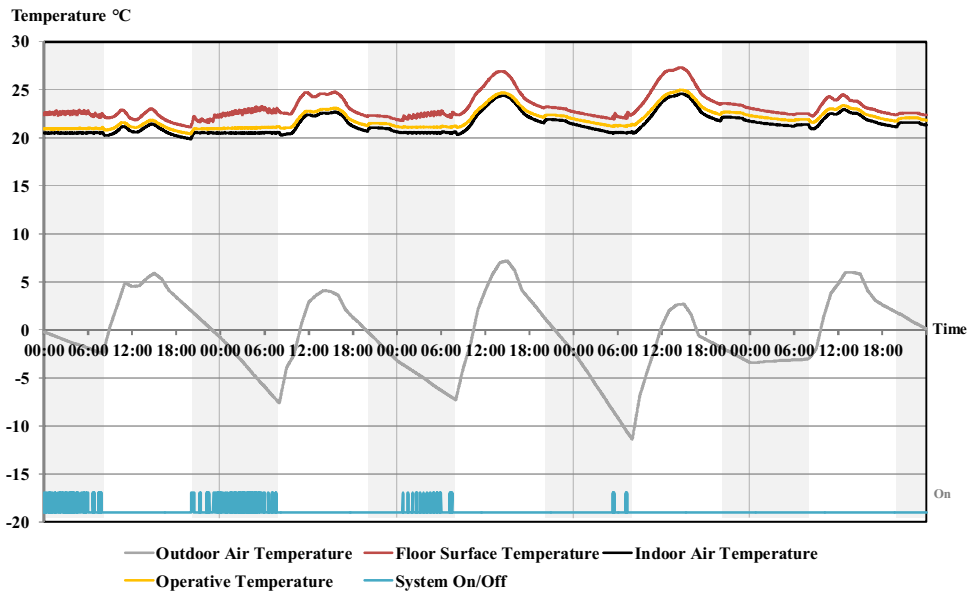


그림 6.15 간헐운전 중 외기온도 변동 폭이 큰 기간의 난방운전 특성(에너지절약형)

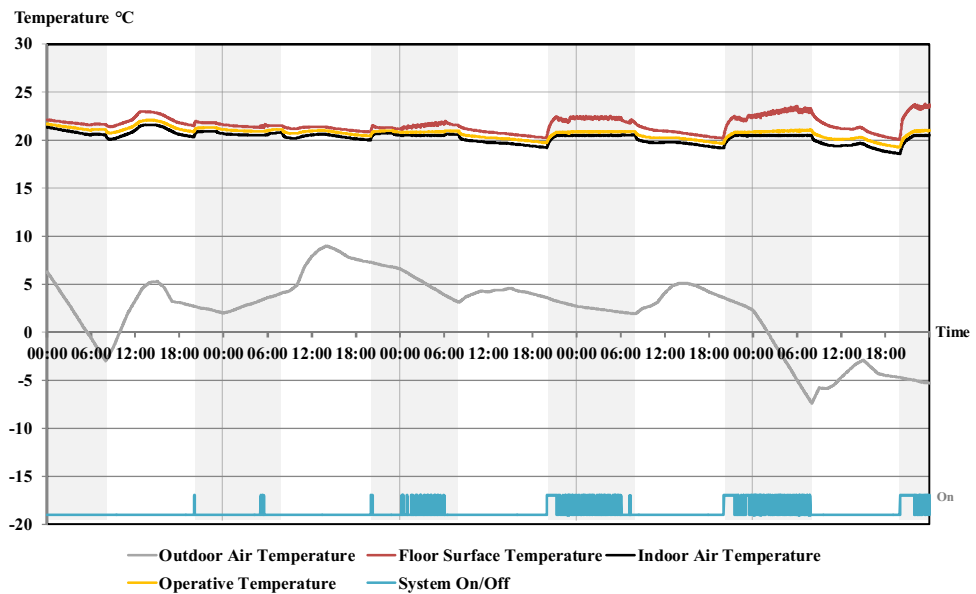


그림 6.16 간헐운전 중 외기온도가 온화한 기간의 난방운전 특성(에너지절약형)

대표적인 난방부하 크기와 특성을 나타내는 각 기간의 간헐운전 중인 에너지절약형 공동주택에서의 실내온도 분포를 볼 때, 비교적 안정적으로 설정온도 범위를 유지하여 적절한 난방성능을 발휘한 것으로 판단된다. 또한 난방중단 후 재가동 시 설정실온으로 실내온도가 회복되는 속도도 빠르게 나타났다. 따라서 적용된 HTES의 구성안과 운전방안의 난방부하에 대한 대응이 비교적 양호하게 이루어졌다고 판단된다.

한편, 기존 공동주택에 비해 실내온도가 더 안정적으로 유지되는 것으로 나타났는데, 이는 습식 바닥 복사난방 패널과 건식 바닥 복사난방 패널의 열적 특성, 즉 열용량에 의한 응답속도와 공급 열량의 단소(斷續) 특성 차이에서 기인한 것으로 판단된다.

에너지절약형 공동주택에서, 기존의 방식대로 내단열 및 건식 바닥 복사난방 패널을 적용한 경우와 외단열 및 건식 바닥 복사난방 패널을 적용한 경우와 HTES를 적용하는 동시에 외단열 및 건식 바닥 복사난방 패널을 적용했을 때의 간헐운전 적용 시 난방에너지 사용량(그림 6.13)을 볼 때, 기존의 방식대로 내단열 및 건식 바닥 복사난방 패널을 적용한 경우와 외단열 및 건식 바닥 복사난방 패널을 적용한 경우에 비해 약 11% 정도의 에너지 저감 효과가 있는 것으로 나타났다.

이상의 결과들을 종합할 때, 연속운전이 채택된 에너지절약형 공동주택에 HTES와 운전방안 적용 시 난방 및 에너지 성능의 개선이 가능한 것으로 나타났다.

그림 6.17은 외단열 및 건식 바닥 복사난방 패널을 적용한 에너지절약형 공동주택에 HTES를 적용했을 때, 가장 낮은 외기온도 분포를 나타내는 기간에 연속운전과 간헐운전 시 실내온도 분포와 난방운전 특성을 나타낸 것이다. 두 경우 모두 실내온도의 안정적인 제어가 수행되는 것을 알 수 있으나, 간헐운전에 비해 연속운전의 경우에 실내온도가 약간 높게 유지되었다. 또한 난방시스템의 가동-정지 빈도도 연속운전의 경우가 더 잦은 편이었다.

따라서 난방부하의 크기가 상대적으로 작은 에너지절약형 주거건물에서는 실내온도 분포 및 난방설비의 가동-정지 특성, 이로 인한 난방에너지 소비 측면에서 연속운전에 비해 간헐운전을 적용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

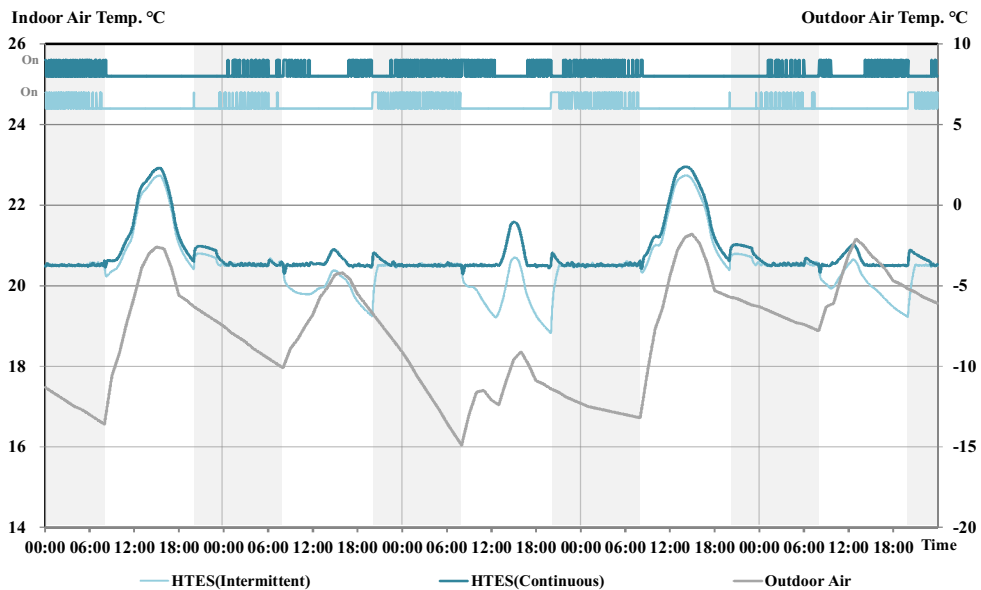


그림 6.17 외기온도가 가장 낮은 기간의 연속운전 및 간헐운전 결과

## 6.4 소결

난방수요 대응을 통한 난방 및 에너지 성능 개선을 위해 본 연구에서 제안한 Hydronic Thermal Energy System 구성안과 운전방안을 적용함으로써 나타나는 난방운전 및 열적 거동, 에너지 소비 특성 분석을 통해, 기존 및 에너지절약형 주거건물에서의 HTES의 난방수요 대응성능을 평가하여 그 적용 타당성을 분석하였다.

제안된 HTES 구성과 운전방안의 기존(현행) 주거건물에서의 난방수요 변화에 대한 대응성능을 평가하기 위해, 습식 바닥 복사난방 패널과 내단열이 적용된 전형적인 현행 공동주택에서 연속운전 및 간헐운전 시 난방운전 및 열적 거동 특성과 에너지 소비 특성을 분석하였다. 또한 에너지절약형 주거건물에서의 난방수요 대응성능 평가를 위해, 건식 바닥 복사난방 패널과 외단열 공법이 적용된 것을 가정하여 평가하였다.

평가 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 대표적인 난방부하 크기와 특성을 나타내는 외기온도 조건에서 연속운전 중인 기존 공동주택에서의 HTES 구성안과 운전방안 적용 난방운전 시, 실내온도는 비교적 안정적으로 설정범위 내로 유지되었으며, 실내온도 변동 폭도 비교적 작게 나타났다. 따라서 기존 공동주택에 제안된 HTES 구성안과 운전방안을 적용할 때, 난방수요에 적절하게 대응하여 난방성능을 발휘하는 것으로 나타났다.

(2) 연속 난방운전을 채택한 기존 공동주택에서, 현재 일반적으로 적용되는 난방설비에 비해 HTES 구성안과 운전방안을 적용했을 때 난방에너

지 소비를 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 연속운전이 채택된 공동주택에 HTES 적용 시 현재의 전형적인 난방설비에 비해 난방 및 에너지 성능의 개선이 가능한 것으로 판단된다.

(3) 대표적인 난방부하 크기와 특성을 나타내는 외기온도 조건에서 간헐운전 중인 기존 공동주택에서의 HTES 구성안과 운전방안 적용 난방운전 시, 실내온도는 비교적 안정적으로 설정온도 범위를 유지하였으며, 따라서 적용된 HTES의 난방수요에 대한 대응이 비교적 양호하다고 판단된다.

그러나 난방부하가 비교적 큰 경우의 난방수요 대응성능 개선을 위해 바닥 복사난방 패널의 열용량에 의한 시간지연을 고려한 공급 온수온도 산정의 필요성이 있는 것으로 판단된다.

(4) 간헐운전을 채택한 기존 공동주택에서, 현재 일반적으로 적용되는 난방설비에 비해 HTES를 적용했을 때 난방에너지 소비를 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 간헐운전이 채택된 공동주택에 HTES 적용 시 현재의 전형적인 난방설비에 비해 난방 및 에너지 성능의 개선이 가능한 것으로 판단된다.

(5) 대표적인 난방부하 크기와 특성을 나타내는 외기온도 조건에서 연속운전 중인 에너지절약형 공동주택에서의 HTES 구성안과 운전방안 적용 난방운전 시, 실내온도는 비교적 안정적으로 설정온도 범위를 유지하여 적절한 난방성능을 발휘한 것으로 나타났다.

특히 기존 공동주택에 적용했을 때에 비해 실내온도의 변동 폭이 매우 작게 나타났는데, 이는 습식 바닥 복사난방 패널과 건식 바닥 복사난방 패널의 공급 열량 단속(斷續) 특성 차이에서 기인한 것으로 판단된다.



(6) 외단열 및 건식패널이 적용된 에너지절약형 공동주택에서 HTES 구성과 운전방안 적용 간헐운전 시, 실내온도가 비교적 안정적으로 설정온도 범위를 유지하였으며, 난방중단 후 재가동 시 설정실온으로 실내온도가 회복되는 속도도 빠르게 나타났다. 따라서 적용된 HTES의 난방부하에 대한 대응이 비교적 양호하게 이루어졌다고 판단된다.

(7) 외단열 및 건식 바닥 복사난방 패널을 적용한 에너지절약형 공동주택에서, 기존의 난방설비 방식대로 내단열 및 건식 바닥 복사난방 패널을 적용한 경우와 외단열 및 건식 바닥 복사난방 패널을 적용한 경우에 비해 난방에너지 저감 효과가 있는 것으로 나타났다.

따라서 연속운전 및 간헐운전 중인 에너지절약형 공동주택에 HTES 적용 시 난방 및 에너지 성능의 개선이 가능한 것으로 판단된다.

(8) 외단열 및 건식 바닥 복사난방 패널을 적용한 에너지절약형 공동주택에 HTES 구성과 운전방안을 적용했을 때, 연속운전과 간헐운전 시 실내온도의 안정적인 제어가 수행되었으나, 간헐운전에 비해 연속운전의 경우에 실내온도가 약간 높게 유지되었다. 또한 난방시스템의 가동-정지 빈도도 연속운전의 경우가 더 잦은 편이었다.

따라서 난방부하의 크기가 상대적으로 작은 에너지절약형 주거건물에서는 실내온도 분포 및 난방설비의 가동-정지 특성, 이로 인한 난방에너지 소비 측면에서 연속운전에 비해 간헐운전을 적용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

---

## 제 7 장 결 론

---

본 연구에서는 난방부하 감소와 운전 중 난방수요의 변화에 대한 대응 측면에서의 난방 및 에너지 성능 개선을 위한 대안으로서, 난방수요 특성 뿐 아니라 에너지절약형 주거건물에서의 열원통합 경향과 다양한 열 사용시설의 요구조건 차이 등을 고려한 Hydronic Thermal Energy System의 구성과 운전방안을 제안하고 그 적용 타당성을 검증하였다.

이를 위해 우선적으로 단열성능 기준, 설계도서, 연구문헌을 통해, 주거건물의 난방부하 변화 및 에너지절약형 주거건물의 난방부하 특징을 분석하였으며, 기존 및 에너지절약형 주거건물의 난방설비 적용 현황과 난방 및 에너지 성능 관련 주요 쟁점을 고찰하였다. 다음으로 난방설비 대안에 요구되는 조건 및 성능 분석을 위해, 난방운전 및 열적 거동에 영향을 미치는 인자들을 난방수요의 변화와 난방수요에 대한 난방설비의 대응 측면으로 구분하여 도출하였다. 또한 영향인자에 의한 난방운전 및 열적 거동 특성 분석과 제안된 Hydronic Thermal Energy System의 적용 타당성 검증을 위한 평가체계를 구축하였다.

평가체계에 따른 동적 열 및 에너지 시뮬레이션 분석을 통해, 난방부하 감소 및 운전 중 난방수요 변화에 따른 기존 난방설비의 난방운전 및 열적 거동 특성을 분석하였으며, 그 결과를 기존 및 에너지절약형 공동주택 각 경우에 대해 적용된 난방운전 방식으로 구분하여 제시하였다.

이 결과와 각각의 에너지 소비 특성 분석을 바탕으로, 난방 및 에너지 성능 개선을 위해 난방수요 대응을 고려한 Hydronic Thermal Energy System에 요구되는 조건 및 성능을 도출하였으며, 이 요구조건을 충족할 수 있는 관련 기술의 검토와 정성적 분석·평가를 통해 열원방식별 Hydronic Thermal Energy System의 구성과 운전방안을 제안하였다.

마지막으로, 제안된 Hydronic Thermal Energy System의 적용 타당성 검토를 위해, 기존 및 에너지절약형 공동주택을 대상으로 대안설비의 설계를 진행하였으며, 평가체계에 따른 시뮬레이션 분석을 통해 난방 및 에너지 성능 개선 효과를 분석하여 제시하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 난방설비의 난방수요 대응방안을 위해 요구되는 성능을 도출하기 위해 난방운전 및 열적 거동 특성에 영향을 미치는 인자를 도출하였다. 난방부하 산정 시 가정하는 난방운전 조건과 상이한 운전 및 난방공간의 열적 조건은 난방부하 이외의 난방수요 형태로 나타내므로, 난방수요 측면의 영향인자로 난방운전 방식을 선정하여 평가체계에 반영하였다.

난방설비의 난방수요대응 측면에서는 열에너지 생산 과정에서는 공급 온수온도를, 열에너지 전달 과정에서는 바닥 복사난방 패널의 열적 특성을, 열에너지의 최종적인 공급 과정에서는 건물외피의 열적 특성을 각각 영향인자로 선정하여 분석 및 평가에 반영하였다.

(2) 최대 난방부하를 기준으로 산정되는 설계 공급 온수온도의 특성상 연속운전 중 대부분의 기간에 직면하는 부분부하 조건에서는 단위시간당 요구 열량에 비해 큰 열량이 공급됨으로써 과열현상이 발생하였다.

이러한 현상은 난방부하가 작은 에너지절약형 공동주택에서 두드러지게 나타났으나, 작은 난방부하로 인해 바닥 표면온도와 작용온도는 비교적 낮은 분포를 보였다. 따라서 에너지절약형 주거건물에서 높은 공급 온수온도에 의한 과잉열량 공급으로 인한 과열현상과 낮은 바닥 표면온도에 의한 불쾌적에 대한 고려가 필요하며, 복사 열전달 효과에 의한 복사난방의 장점은 크게 나타나지 않는 것으로 나타났다.

(3) 간헐운전이 적용된 경우, 난방부하에 비해 높은 공급 온수온도를 적용하여도 재실하지 않는 기간의 난방중단으로 인한 실내온도 하강을 회복하는 과정에서 설정실온 하한에 미달하는 시간이 크게 증가한다. 이러한 현상은 난방부하가 비교적 큰 기존 공동주택에서 두드러지게 나타나고, 난방부하가 작은 에너지절약형 공동주택에서는 난방중단 중 실내온도 하강 폭이 비교적 작기 때문에 난방 재가동 시 실내온도를 설정 값으로 빠르게 회복되었다. 한편, 설정실온에 도달 후에는 연속운전과 동일한 형태의 과열현상이 발생하였다.

(4) 연속운전을 적용할 때 복사난방 패널의 유형에 따른 열적 거동은 큰 차이를 나타내지 않았다. 간헐운전의 경우, 난방중단 중 실내온도의 하강 폭이 열용량이 비교적 작은 건식패널을 적용했을 때 크게 나타났으며, 열용량이 큰 습식패널의 경우 난방가동 중 패널에 축적된 열이 방열됨으로 인해 난방중단 시 실내온도 하강 폭이 건식패널에 비해 작게 나타났다. 그러나 동일한 이유로 난방 재가동 시 실내온도를 설정 범위로 회복하는 시간도 길게 나타났다. 에너지절약형 공동주택에서는 난방부하의 감소로 인해 간헐운전의 경우에도 실내온도 하강 폭이 작았으며, 건식패널의 경우 난방 재가동 시 회복시간이 매우 짧게 나타났다.

(5) 연속운전을 적용할 때 건물의 단열방식에 따른 열적 거동은 큰 차이를 보이지 않았으나, 실내온도의 변동 폭은 내단열에 비해 외단열을 적용했을 때 작게 나타났다. 이는 외단열의 경우 일사 또는 바닥 복사난방 패널로부터 많은 열량이 공간으로 유입될 때 건물외피에 열을 축적하고, 실내온도가 하강할 때 축적된 열을 공간으로 배열하는 과정에 의한 결과이다. 그러므로 건물 내부 건축자재의 큰 열용량은 과잉열량 공급에 의한 과열현상과 실온변동 편차를 완화시켜주는 효과를 얻을 수 있다.

(6) 단위시간당 요구 열량과 공급 열량의 차이로 인해 나타나는 과열현상 및 난방부족으로 인한 불쾌적, 과잉 열량 공급으로 인한 에너지 낭비를 개선하기 위해 공급 온수온도 조절을 통한 공급 열량의 조절이 요구된다. 한편, 간헐운전의 경우 최대 난방부하를 고려한 공급 온수온도에 의한 열량 공급에도 불구하고 난방부족 현상이 나타나므로 운전상태를 고려한 추가 열량 공급이 요구된다. 이를 충족할 수 있는 방법으로, 개별 난방방식에서는 생산된 열을 저장한 후 난방수요에 따라 조절하여 공급하는 방법이, 중앙 난방방식에서는 중앙 기계실로부터 공급되는 열에너지를 즉시 변환하여 공급하는 방법이 효율적인 것으로 판단된다.

(7) 외기보상에 의한 공급 온수온도에 운전상태를 추가적으로 반영한 온수온도를 공급 열매조건으로 산정하는 운전방안을 제안하였다. 운전상태를 고려하여 설정실온에 도달할 때까지는 외기조건에 예열부하에 의한 공급 열량을 반영하였으며, 설정실온 도달 후에는 외기조건만 반영하여 공급 온수온도를 산정하는 방안을 제안하였다.

(8) 열전달 매체로서의 복사패널의 열용량은 과열 및 에너지 소비를 증가시키며, 공간 내 건물외피의 열용량은 실내온도 변동 편차를 완화시켜

주는 역할을 한다. 기존 및 에너지절약형 공동주택에서의 난방 및 에너지 성능 개선을 위해서는 난방설비의 반응속도 개선을 위해 비교적 열용량과 열시정수가 작은 복사난방 패널과 비교적 큰 열용량을 갖는 건물 내부의 건축자재 적용(외단열)이 건축적인 대응으로 적합하다고 판단된다.

(9) 기존 공동주택에서의 Hydronic Thermal Energy System 구성안과 운전방안 적용 난방운전 시, 실내온도 및 실내온도 변동 폭은 비교적 안정적으로 설정범위 내로 유지되었다. 또한 현재 일반적으로 적용되는 난방설비에 비해 Hydronic Thermal Energy System 구성안과 운전방안을 적용했을 때 난방에너지 소비를 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 기존 공동주택에 Hydronic Thermal Energy System 적용 시 현재의 전형적인 난방설비에 비해 난방 및 에너지 성능의 개선이 가능한 것으로 나타났다.

(10) 외단열 및 건식패널이 적용된 에너지절약형 공동주택에서의 Hydronic Thermal Energy System 구성안과 운전방안 적용 난방운전 시, 실내온도 및 실내온도 변동 폭은 비교적 안정적으로 설정범위를 유지하였으며, 난방중단 후 재가동 시 설정실온으로 실내온도가 회복되는 속도도 빠르게 나타났다. 또한 난방에너지 저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 에너지절약형 공동주택에 Hydronic Thermal Energy System 적용 시 난방 및 에너지 성능의 개선이 가능한 것으로 판단된다.

한편, 간헐운전에 비해 연속운전의 경우 실내온도가 약간 높게 유지되었고, 난방의 가동-정지도 연속운전의 경우가 더 빈번했다. 따라서 난방부하의 크기가 상대적으로 작은 에너지절약형 주거건물에서는 실내온도 분포 및 난방설비의 가동-정지 특성, 이로 인한 난방에너지 소비 측면에서 연속운전에 비해 간헐운전을 적용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 기존 주거건물 난방설비의 난방요구 대응성능 개선을 통한 난방성능 및 에너지 소비 개선 방안으로써, 난방설비 계획의 참고자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한 에너지절약형 주거건물 난방설비 계획 및 운전에 대한 설계자 및 사용자 의사결정 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구의 진행과정에서 나타난 한계점과 추후 연구 과제는 다음과 같다.

(1) 본 연구는 건축 환경 및 설비분야의 많은 전문가들이 사용하고 있는 검증된 동적 열 및 에너지 해석 프로그램인 EnergyPlus(ver. 8.6)를 이용한 분석과 검증을 통해 진행되었다. 그러나 사용된 가정과 입력조건들이 실제 건물에서 나타나는 현상을 모두 정확하게 반영할 수 없다는 simulation 분석의 본질적인 특성 상, 실제적인 공간에서 나타나는 다양한 외란요인들이 반영된 실험을 통한 추가적인 검증을 통해 연구결과의 신뢰도 보완이 필요하다.

(2) 본 연구에서 제안한 Hydronic Thermal Energy System의 말단설비로 현재 대부분의 국내 주거건물에 적용되고 있는 바닥 복사난방 패널을 가정하였다. 바닥 복사난방 패널의 대표적 열 성능은 방열량과 바닥 표면온도를 들 수 있으며, 난방부하가 크게 감소하는 에너지절약형 주거건물에서 낮은 바닥 표면온도로 인해 불쾌적을 유발할 수 있음을 분석을 통해 보였다. 한편, 또 다른 쾌적지표로 바닥 표면온도의 수평편차를 고려할 수 있으며, 배관 관경 및 배치 간격 등 설계변수에 직접적으로 관계된다. 따라서 좌식생활 문화로부터 기인하는 현재와 같은 온열감각을 고려하여, 에너지절약형 주거건물에서 바닥 표면온도 쾌적을 달성하기 위

해, 배관 관경 및 간격에 의한 바닥 표면온도 쾌적 등을 포함하는 추가적인 연구가 필요하며, 이러한 과정에서 추가적인 Hydronic Thermal Energy System의 운전방안도 도출 가능할 것이다.

(3) Hydronic Thermal Energy System의 수요대응 성능 평가에는 제안한 운전방안의 기본 원리에 대한 분석과 검증을 위해, 난방중단 후 재가동 시에는 예열부하(pick-up load)를 고려한 공급 온수온도를, 설정실온 도달 후 난방운전 기간에는 단순한 형태의 외기보상 제어를 적용하였다. 다양한 영향인자를 고려한 최적 공급 온수온도 결정 방법에 대한 추가 연구를 통해 Hydronic Thermal Energy System의 추가적인 난방 및 에너지 성능 개선이 가능할 것이다.

(4) 본 연구에서는 thermal buffer tank를 포함하는 개별 난방방식을 대상으로 Hydronic Thermal Energy System 구성과 운전방안의 적용 타당성을 검증하였다. 제안된 Hydronic Thermal Energy System은 급탕설비와 같은 난방 이외의 다른 열사용 설비도 함께 고려된 대안이지만, 난방성능에 관한 본 연구의 목적 상, 난방을 위한 가스보일러의 1회 가동 시 운전지속 최소시간과 난방용 buffer tank의 일반적인 용량 산정방법을 고려하여 thermal buffer tank의 용량을 산정하였다. 그러나 에너지절약형 주거 건물에서의 열원설비 운전효율 개선과 에너지 소비 저감을 위한 열 사용설비의 열원 통합 경향을 고려할 때, 난방수요와 급탕수요의 크기, 사용빈도, 요구수량 등 다른 설비와의 수요관계와 설치 공간 및 비용 등을 고려한 thermal buffer tank의 최적 용량 산정방법에 대한 후속 연구를 통해 Hydronic Thermal Energy System의 추가적인 에너지 성능 개선이 가능할 것으로 판단된다.





## 참 고 문 헌

1. 건축설비용어대사전 편찬위원회, 1997, 건축설비용어대사전, 기문당.
2. 공조설비용어사전 편찬회, 2011, 공조냉동건축설비 용어사전, 일진사.
3. 김승욱, 1999, 공동주택에서 온돌난방 시스템 적용에 관한 연구, 동국대학교 대학원 석사학위논문, 동국대학교.
4. 김혜진, 서동현, 2015, 단열기준변천에 따른 공동주택의 난방에너지 절감량 분석, 2015 한국건축친환경설비학회 추계학술발표대회 논문집, 한국건축친환경설비학회, pp.141-142.
5. 김화국, 2013, 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지에서의 난방 유량공급 특성 및 개선 방안, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 서울대학교.
6. 김화국, 유미혜, 정창호, 여명석, 김광우, 2013, 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지에서의 난방시스템 유량 공급특성 분석, 대한건축학회논문집 계획계, 29(4), pp.267-274.
7. 리령, 2016, 바닥 복사 난방시스템의 난방용량에 따른 개별보일러의 운전특성 및 난방 에너지 소비량 분석, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 서울대학교.
8. 박석봉, 1996, 공동주택의 난방 부하에 관한 연구, 산업기술연구, 6, pp.39-52.
9. 박유원, 유호선, 홍희기, 2005, 한국형 아파트의 난방에너지 분석 3 : 실내설 정조건의 영향, 설비공학논문집, 17(8), 대한설비공학회. pp.722-728.
10. 성순경, 2007, 난방시스템, 도서출판 세진사.
11. 송국섭, 전봉구, 이현우, 2000, 콘크리트 바닥과 나무 바닥의 좌식 생활 자세 별 온열감 비교 연구, 대한건축학회 논문집, 16(2), 대한건축학회, pp.105-114.
12. 송국섭, 전봉구, 김기훈, 전성원, 2001, 坐食 生活 姿勢에서 황토, 소나무, 우레탄 고무, 철판 바닥재료의 熱特性에 따른 溫熱感 比較 研究, 대한건축학회 논문집(계획계), 17(2), 대한건축학회, pp.207-216.
13. 송국섭, 안가연, 이정범, 2011, 바닥의 온도가 심부온도, 피부온도, 혈류량에 미치는 영향, 한국생활환경학회지, 18(1), 한국생활환경학회, pp.67-74.
14. 신문철, 1975, 새마을 농어촌 주택 개선을 위한 새로운 난방방법과 그 구조에 관한 연구, 건축(대한건축학회지), 19(62), 대한건축학회, pp.13-20.

15. 신미수, 2008, 방열량과 바닥표면온도를 고려한 바닥난방 패널 설계에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 서울대학교.
16. 여명석, 김광우, 1999, 공동주택 온수온돌 바닥복사 난방시스템의 제어방법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 15(3), 대한건축학회.
17. 여명석, 석호태, 김광우, 1998, 공동주택 온수온돌 바닥복사 난방시스템의 온수온도 제어방법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 14(12).
18. 여인규, 2017, “냉난방 · 환기 · 급탕 · 제습 ‘원샷’ 통합유닛시스템 시급”, 주간 kharn, 82.
19. 유미혜, 2013, 바이패스 방식을 이용한 개별난방시스템 개선 대안의 적용 효과 분석, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 서울대학교.
20. 윤정숙, 민경애, 최윤정, 1994, 온돌 난방공간에 있어서 온수 공급조건에 따른 거주자의 주관적 반응과 온열 쾌적범위, 대한건축학회 논문집, 10(10), 167-174.
21. 이건, 신종필, 1977, 주택용 복사난방방식 설계, 공기조화냉동공학(공기조화냉동공학회지), 6(2), pp.110-114.
22. 이경미, 백희정, 조천호, 2012, 한국의 미래 냉방도일과 난방도일 변화 전망, 대한기계학회 논문집, 36(8), 대한기계학회, pp1-13.
23. 이규남, 2010, 복사냉난방 시스템의 성능평가를 위한 에뮬레이션에 관한 연구, 서울대학교 대학원 박사학위논문, 서울대학교.
24. 이도현, 전명훈, 최진만, 2002, 공동주택의 건식온돌시스템 성능 기준(안) 작성 연구, 대한주택공사 주택도시연구원.
25. 이병영, 1970, 우리나라에서 처음 시도한 한강 아파트 지역난방 설비를 끝내고, 주택도시, 26, pp.74-80.
26. 이병영, 유동열, 1977, 단지형 아파트 난방과 그 고려사항, 공기조화냉동공학(공기조화냉동공학회지), 6(3), pp.202-209.
27. 이상오, 2009, 차압 컨트롤 밸런싱 시스템에 대한 이해, 설비-공조 냉동 위생(한국설비기술협회지), 26(6).
28. 이운정, 정창호, 여명석, 김광우, 2011, 국내 공동주택의 난방부하 특성을 고려한 바닥 복사난방 패널의 설계, 대한건축학회 논문집 계획계, 27(9), 대한건축학회.

29. 이운정, 2012, 국내 공동주택의 난방부하 특성을 고려한 바닥 복사난방 패널의 설계와 합리적 패널 적용에 따른 효과 분석, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 서울대학교.
30. 정창호, 이규동, 여명석, 김광우, 2013, 목업 평가(Mock-up Test)를 통한 바닥 건식난방 패널의 표면온도 분포 분석 및 개선 방안, 한국생활환경학회지, 20(4), 한국생활환경학회.
31. 정해권, 조동우, 유기형, 2009, 건식온돌과 습식온돌의 열전달 특성 비교 분석, 대한건축학회논문집 계획계, 25(11), 대한건축학회.
32. 최명식, 2012, 공동주택의 최적 밸런싱을 통한 에너지 절감과 시스템 효율 증진, 설비-공조 냉동 위생(한국설비기술협회지), 29(1), 한국설비기술협회.
33. 최창식, 리령, 정창호, 여명석, 김광우, 2015, 현장조사를 통한 지역난방 열원 사용 공동주택 단지의 열원 및 분배 시스템 운영현황 분석, 대한건축학회 2015년 추계학술발표대회논문집, 35(2), 대한건축학회, pp. 313-314.
34. 한국지역난방공사, 2016, 열사용시설기준.
35. 한국태양에너지학회, 대한민국 표준년 기상데이터(서울 2010-Seoul-R-05).
36. 현대건축관련용어편찬위원회, 2011, 건축용어사전, 성안당.
37. Andreas Heinz, 2007, PCM storage to reduce cycling rates for boiler, Graz University of Technology.
38. ASHRAE, 1992, ASHRAE/IES Standard 90.1.
39. ASHRAE, 2008, 2008 ASHRAE Handbook - HVAC Systems and Equipment, ASHRAE.
40. ASHRAE, 2013, 2013 ASHRAE Handbook - Fundamental, ASHRAE.
41. APEC Energy Working Group, 2014, Nearly (Net) Zero Energy Building, Asia-Pacific Economic Cooperation.
42. Birol I. Kilkis, Muhammed Eltez, Suat S. Sager, A Simplified Model for the Design of Radiant In-slab Heating Panels, ASHRAE Transactions.
43. Brian Elmegaard, Torben Schmidt Ommen, Michael Markussen, Johnny Iversen, 2016, Integration of space heating and hot water supply in low temperature district heating, Energy and Buildings(124), pp.255-264.

44. Caleffi, Technical Brochure No. 01209.
45. Caleffi, Technical Brochure No. 01216.
46. Cemline Corporation, 2010, System Efficiency Buffer Tank Cemline Primary / Secondary Buffer Tank, Air Separator.
47. CEN, 2008, EN 1264 Water based surface embedded heating and cooling systems, CEN.
48. CIBSE, 2004, CIBSE Guide F: Energy efficiency in buildings, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London.
49. Danfoss, 2014, Technical Handbook : Danfoss EvoFlat systems from A-Z (The lead on your project with an efficient system concept).
50. Danny H. W. Li, Liu Yang, Joseph C. Lam, 2013, Zero energy buildings and sustainable development implications - A review, *Energy*(54), pp.1-10.
51. David E. Watkins, 2011, Heating Services in Buildings: Design, Installation, Commissioning & Maintenance, Wiley-Blackwell.
52. G. S. Song, 2008, Effect of floor surface temperature on blood flow and skin temperature in the foot, *Indoor Air*, 18(6), pp.511-520.
53. Henrik Lund, Sven Werner, Robin Wiltshire, Svend Svendsen, Jan Eric Thorsen, Frede Hvelplund, Brian Vad Mathiesen, 2014, 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, *Energy*(68), pp.1-11.
54. Ivar Baldvinsson, Toshihiko Nakata, 2016, A feasibility and performance assessment of a low temperature district heating system: A North Japanese case study, *Energy* (95), pp. 155-174.
55. Jan Babiak, Bjaren W. Olesen, Dusan Petras, 2007, Low temperature heating and high temperature cooling, REHVA.
56. Jan F. Kreider, Peter S. Curtiss, Ari Rabl, 2010, Heating and Cooling of Buildings: Design for Efficiency(Revised 2<sup>nd</sup> Edition), CRC Press.
57. John Siegenthaler, 2012, Modern Hydronic Heating for Residential and Light Commercial Buildings(3e), Delmar, Cengage Learning.

58. L. Peeters, J. Van der Veken, H. Hens, L. Helsen, and W. D'haeseleer, 2007, Sizing of boilers for residential buildings, Proceedings of Clima 2007 Conference.
59. L. Peeters, J. Van der Veken, H. Hens, L. Helsen, and W. D'haeseleer, 2008, Control of heating systems in residential building: Current practice. *Energy and Buildings* (40), pp.1446-1455.
60. L. Zhang, K. Emura, and Y. Nakane, 1998, A Proposal of Optimal Floor Surface Temperature Based on Survey of Literatures Related to Floor Heating Environment in Japan, *Applied Human Science*, 17(2), pp.61-66.
61. M. Brand and S. Svendsen, 2013, Renewable based low-temperature district heating for existing buildings in various stages of refurbishment. *Energy*(62), pp. 311-319.
62. N. Couillaud, P. Riederer, M. Jandon, Y. Diab, 2005, Balancing operation for the optimization of hydronic networks, International conference for enhanced building operations.
63. N. Lukic, 2005, The transient house heating condition—the daily changes of the building envelope response factor(BER), *Renewable Energy* (30), pp.537 - 549.
64. Rayment R., 1995, Boiler efficiency and gas consumption: Effects of cycling and pump speed, *Building Service Engineering Research and Technology*, 16(1), pp.55-58.
65. Renato M. Lazzarin, The Importance of the Modulation Ratio in the Boilers Installed in Refurbished Buildings, *Energy and Buildings*(75)
66. Ronald L. Howell, William J. Coad, Harry J. Sauer,Jr., 2009, Principles of Heating Ventilating and Air Conditioning Based on the 2009 ASHRAE Handbook-Fundamentals, 6th, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
67. U.S. Department of Energy, 2012, Minimize Boiler Short Cycling Losses.
68. Walter T. Grondzik, Alison G. Kwok, Benjamin Stein, John S. Reynolds, 2010, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings(11th Edition), John Wiley & Sons, Inc.

69. X. Damianos, A. Day, and M. Ratcliffe, 2007, The development of a dynamic model to simulate boiler controls, Building Service and Engineering Research and Technology, 28(2), pp.105-116.
70. Xiaochen Yang, Hongwei Li, Svend Svendsen, 2016, Energy, economy and exergy evaluations of the solutions for supplying domestic hot water from low-temperature district heating in Denmark, Energy Conversion and Management(122), pp.142-152.
71. Yasuhiro Hamada, Makoto Nakamura, Kiyoshi Ochifuji, Shintaro Yokoyama, Katsunori Nagano, 2003, Development of a database of low energy homes around the world and analyses of their trends, Renewable Energy(28), pp.321-328.
72. 건설교통부, 2001, (건설교통부령)건축물의설비기준등에관한규칙.
73. 건설부, 1979, (건설부령)건축법시행규칙.
74. 건설부, 1980, (건설부령)건축법시행규칙.
75. 건설부, 1984, (건설부령)건축법시행규칙.
76. 건설부, 1987, (건설부령)건축법시행규칙.
77. 건설부, 1992, (건설부령)건축물의설비기준등에관한규칙.
78. 국토교통부, 2006, (국토교통부령)건축물의설비기준등에관한규칙.
79. 국토교통부, 2008, (국토교통부령)건축물의설비기준등에관한규칙.
80. 국토교통부, 2010, (국토교통부령)건축물의설비기준등에관한규칙.
81. 국토교통부, 2013, (국토교통부령)건축물의설비기준등에관한규칙.
82. 국토교통부, 2013, (국토교통부 고시)건축물의 에너지절약설계기준.
83. 국토교통부, 2016, (국토교통부 고시)건축물의 에너지절약설계기준.
84. 국토교통부, 2016, (국토교통부 고시)공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준.
85. KOSIS 국가통계포털, kosis.kr

## **ABSTRACT**

### **Handling Strategies of Hydronic Thermal Energy System for Heating Demand on Low Energy Residential House**

By Jeong, Chang-Ho

Ph.D. Dissertation

Department of Architecture

Graduate School of Seoul National University

Advised by

Professor Kim, Kwang Woo

2017. 8.

In this study, the configuration and operation strategy of Hydronic Thermal Energy System were proposed as an alternative to improve the heating and energy performance through response to the reduction of heating load and the change of heating demand(or requirement) during heating operation. And the applicability of proposed Hydronic Thermal Energy System on current and low energy residential house was evaluated.

The main results of the study are as follows.

(1) In order to derive the requirements for the heating system to handle with the heating demand, the factors influencing the characteristics of heating operation



and thermal behavior are analyzed. As a result, the heating operation mode was selected as the factor considering the heating demand. Also, supply water temperature for heating, thermal characteristics of radiant floor heating panel, and thermal properties of building envelope were selected as factors considering the behaviors of heating equipment.

(2) The overheating occurred under the partial load condition, because a large amount of heat compared to the required heat per unit time was supplied, due to the design supply water temperature estimated based on the maximum heating load. This phenomenon is conspicuous in low energy residential house with small heating loads. However, due to the small heating load, the surface floor temperature and the operative temperature were relatively low. Therefore, it is necessary to consider the discomfort by the overheating phenomenon due to the supply of excess heat and the low surface floor temperature in the low energy residential house.

(3) In the case of intermittent heating, the time not to reach the lower limit of set-temperature was significantly during the heating operation after heating off by the non-occupied even if the heating water was supplied at a higher supply water temperature compared to the heating load. These characteristics were remarkable in current residential house with relatively large heating loads. On the other hand, the room temperature quickly recovered to the set-range when the heating was restarted, because the room temperature was dropped relatively slightly during the non-occupied period in an low energy residential house with a small heating load.

(4) The thermal behavior according to the type of radiant floor heating panel was similar under the continuous heating mode. On the other hand, under the intermittent heating mode, the room temperature drop was sharply after the heating off when prefabricated radiant panel with a relatively small heat capacity was applied. In the case of more massive embedded radiant panel, the room temperature drop was smaller than that of the prefabricated radiant panel. However, for the same reason, it took a long time to recover the room temperature to the set-point temperature when heating is restarted.

In the low energy residential house, the room temperature drop was small even in the case of the intermittent heating mode due to smaller heating load. In the case of the prefabricated light-weight radiant panel, the recovery time was short when the heating restarted.

(5) Under the continuous heating mode, the thermal behaviors of buildings according to the insulation type were similar. However, the variation of room temperature was smaller in case of the external insulation than the internal insulation. This is the result by the process of the accumulating heat on the building envelope when a large amount of heat is introduced into the space from solar radiation or radiant floor heating panel and the rejecting accumulated heat when the room temperature falls. Therefore, the large heat capacity of the building materials inside the building has the effect of alleviating the overheating and the room temperature fluctuation.

(6) It is required to control the amount of heat by adjusting the supply water temperature in order to prevent the overheating due to the difference between

the required amount of heat per unit time and the amount of heat supplied, the discomfort due to the insufficient heating, and the waste of energy due to the excessive supply of heat. On the other hand, when the intermittent heating mode is adopted, since the insufficient heating may occur despite the supply of heating water at the high temperature considering the maximum heating load, the supply of additional heat considering the operating state is required.

(7) In this study, the calculation strategy that estimate supply water temperature by considering the heating operation condition in addition to the outdoor reset was proposed. The amount of heat for the preheating load was added in the amount of heat for the outdoor air temperature condition until the room temperature was reached to setting range. After reaching the set-point temperature, the supply water temperature was estimated by considering only the outdoor air temperature condition.

(8) The large heat capacity of the radiant panel increases overheating and energy consumption, and the heat capacity of the building interior envelope alleviates room temperature fluctuations. In order to improve heating and energy performance in current and low energy residential houses, it is advantageous to use radiant heating panels with small heat capacity and thermal time constant and building interior materials with large heat capacity(external insulation).

(9) In the current residential house, the variation of the room temperature and the room temperature was relatively stable when the proposed

Hydronic Thermal Energy System and its operation strategy were used for heating. It is also shown that the heating energy consumption can be reduced by applying the proposed Hydronic Thermal Energy System.

Therefore, heating and energy performance can be improved compared with the conventional heating system through applying the proposed Hydronic Thermal Energy System to the current residential house.

(10) In the low energy residential house with external insulation and prefabricated light-weight radiant heating panel, the variation of the room temperature and the room temperature was relatively stable when the proposed Hydronic Thermal Energy System and its operation strategy were used for heating. Also, the room temperature quickly recovered to the set value when restarting after stopping heating. It is also shown that the heating energy consumption can be reduced by applying the proposed Hydronic Thermal Energy System. Therefore, the application of Hydronic Thermal Energy System in the low energy residential house is considered to be effective for improvement of heating and energy performance.

The room temperature was kept slightly higher under the continuous heating condition. Also, the on/off of heating system was more frequent in the case of continuous heating mode. Therefore, considering the indoor temperature profile, the on/off characteristics of the heating equipment, and the heating energy consumption, it is advantageous to apply the intermittent heating compared with the continuous heating in the low energy residential house with the relatively small heating load.

Keywords: Low Energy Residential House, Hydronic Heating System, Supply Water  
Temperature, Radiant Floor Heating Panel, Building Envelope, Heating  
Demand, Hydronic Thermal Energy System

Student Number : 2009-30891